

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-271363

(43)Date of publication of application : 18.10.1996

(51)Int.Cl.

G01L 9/04

G01B 7/16

G01L 1/18

H01L 29/84

(21)Application number : 07-099683

(71)Applicant : TOYOTA CENTRAL RES &amp; DEV LAB INC

(22)Date of filing : 31.03.1995

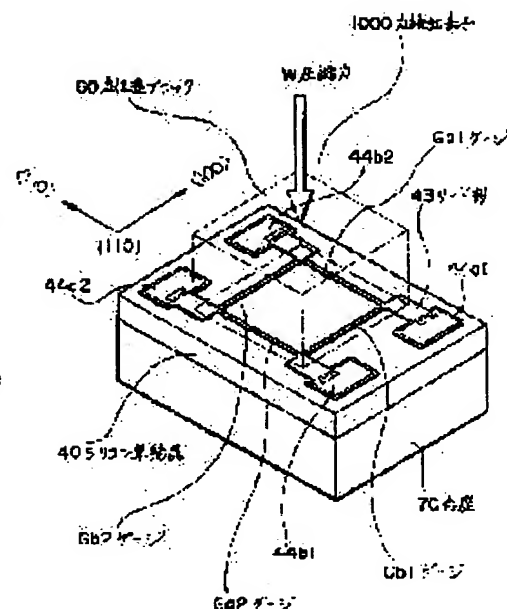
(72)Inventor : TSUKADA ATSUSHI  
 MORIKAWA KENJI  
 NONOMURA YUTAKA  
 TOKUMITSU SANAE  
 TAKEUCHI MASAHARU  
 KAWAGUCHI KAZUYOSHI

## (54) FORCE DETECTING ELEMENT AND MANUFACTURE THEREOF

## (57)Abstract:

PURPOSE: To provide a force detecting element securing sufficient compression breaking strength and having a high output and high reliability.

CONSTITUTION: This force detecting element 1000 is constituted of a silicone monocrystal 40 having the 110-plane, a force transmission block 60 made of crystallized glass, and a pedestal 70, and they are firmly fixed by electrostatic connection respectively. Gauges Ga1, Ga2, Gb1, Gb2, lead sections 43, and electrode sections 44a1, 44a2, 44b1, 44b2 are protruded by 1-3 $\mu$ m from a mesa bottom section by mesa etching on the surface of the silicone monocrystal 40 on the connecting face side between the silicone monocrystal 40 and the force transmission block 60. The pressure receiving areas of the gauges are reduced to obtain high sensitivity, and the mesa step is adjusted to realize a stopper structure and secure the breaking strength resistance.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

21.03.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the  
 examiner's decision of rejection or application converted  
 registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3317084

[Date of registration]

14.06.2002

[Number of appeal against examiner's decision of

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

## [Claim(s)]

[Claim 1] The silicon single crystal which has a field or the crystal face equivalent to this as a field (110) where compressive force is applied. The force transfer block which fixes with the aforementioned crystal face of the aforementioned silicon single crystal, and transmits the aforementioned compressive force at right angles to the crystal face. The susceptor seat which fixes to a field other than the field which the aforementioned force transfer block of the aforementioned silicon single crystal fixed, and supports this silicon single crystal. In the front face of the aforementioned crystal face which is the force detection element equipped with the above, and the aforementioned force transfer block of the aforementioned silicon single crystal fixed The compressive force by force transfer block is received, and the gage from which electric resistance changes with the compressive force is formed. the aforementioned gage It is projected and prepared from the bottom of the level difference by forming a level difference in the front face of the aforementioned crystal face. and this gage It is arranged by the configuration with 2 sets of sides which counter, and a Wheatstone bridge is constituted. The longitudinal direction of 1 set of gages of this is the  $\langle 110 \rangle$  directions or crystal orientation equivalent to this. It is characterized by the longitudinal direction of 1 set of other gages obtaining the voltage output proportional to the compressive force which is the  $\langle 100 \rangle$  directions or crystal orientation equivalent to this, passed current to the input pole of the aforementioned Wheatstone bridge, and was made to act on the aforementioned force transfer block from an output pole.

[Claim 2] The depth of the level difference in the aforementioned crystal face for making a gage project The aforementioned force transfer block which deformation produced with the compressive force when compressive force exceeded the specified quantity, A part of field [ at least ] which counters the level difference bottom of the aforementioned silicon crystal face serves as the depth which contacts the level difference bottom of the aforementioned silicon crystal face. The force detection element according to claim 1 characterized by for the contact portion of the level difference bottom of a force transfer block and the silicon crystal face working as a stopper, sharing the aforementioned compressive force, and supporting when compressive force exceeds the aforementioned specified quantity by this.

[Claim 3] It connects [ level difference / 1st / for making a gage project ] in the aforementioned crystal face of a silicon single crystal, and the 2nd level difference shallower than the 1st level difference is prepared. by adjustment of the depth of these the 1st and 2nd level differences The aforementioned force transfer block which deformation produced with the compressive force when compressive force exceeded the specified quantity contacts only the bottom of the 2nd level difference of the above. When the bottom of the 1st level difference cannot be contacted now and compressive force exceeds the aforementioned specified quantity by this The force detection element according to claim 1 characterized by for the contact portion of the level difference bottom of the above 2nd of a force transfer block and the silicon crystal face working as a stopper, sharing the aforementioned compressive stress, and supporting.

[Claim 4] A gage is arranged by the configuration of the square which has 2 sets of parallel sides mutually on the aforementioned crystal face. 1 set of the vertical angle of four bond parts of a \*\*\*\*\* gage which faced each other is made into an input pole. The voltage output proportional to the compressive force which other 1 set was made [ compressive force ] into the output pole, and current was passed [ compressive force ] to the input pole, and made the force transfer block act on an output pole is obtained. Moreover, the force detection element according to claim 1 to 3 characterized by arranging each gage so that the compressive force by force transfer block may be added to each gage which constitutes each side of the aforementioned square.

[Claim 5] Each gage which constitutes each square side is a force detection element according to claim 4 characterized by being prepared near the neutral line of the direction stress of a flat surface generated by compressing a force transfer block.

[Claim 6] It is the force detection element according to claim 4 or 5 characterized by for the surface portion serving as

a field of the aforementioned gage which projected from the level difference bottom where p type impurity was introduced, and the temperature characteristic of the resistance of the aforementioned gage being the temperature characteristic which compensates change depending on the temperature of the force detection sensitivity property at the time of impressing a constant voltage to an input pole by this at least.

[Claim 7] The concentration of p type impurity is a force detection element according to claim 6 characterized by being one of the order of the order of  $1 \times 10^{18}$  atoms/cm<sup>3</sup>, or the order of  $1 \times 10^{20}$  atoms/cm<sup>3</sup>.

[Claim 8] It is the force detection element according to claim 1 to 7 to which it projects from a level difference bottom to the same extent as the gage on both sides of the aforementioned gage which projected from the level difference bottom, and the gage is characterized by preparing the guard bank which it comes to dissociate electrically.

[Claim 9] It is the force detection element according to claim 1 to 8 to which it projects to the same extent as the aforementioned gage from the surface level difference bottom of the crystal face in the aforementioned crystal face of a force transfer block and the aforementioned silicon single crystal which fixes, and the gage is characterized by preparing the support height for supporting a part for the center section of the aforementioned force transfer block separated electrically.

[Claim 10] The force detection element according to claim 1 to 9 characterized by using pi 13 as a piezoresistance coefficient in the aforementioned gage used for detection of compressive force.

[Claim 11] The silicon single crystal which is characterized by providing the following and which has a field or the crystal face equivalent to this as a field (110) where compressive force is applied, The force transfer block which fixes with the aforementioned crystal face of the aforementioned silicon single crystal, and transmits the aforementioned compressive force at right angles to the crystal face, It fixes to a field other than the field which the aforementioned force transfer block of the aforementioned silicon single crystal fixed. In the front face of the aforementioned crystal face which possessed the susceptor seat which supports this silicon single crystal, and the aforementioned force transfer block of the aforementioned silicon single crystal fixed The compressive force by force transfer block is received, and the gage from which electric resistance changes with the compressive force is formed. the aforementioned gage The surface portion of the gage which was projected and formed from the bottom of the level difference, and projected from this level difference bottom is the method of manufacturing the force detection element used as p type field, by forming a level difference in the front face of the aforementioned crystal face. The process which introduces p type impurity into the surface section of n type silicon-single-crystal substrate, and forms p type field as a process which forms the aforementioned silicon single crystal which includes p type field in the aforementioned gage row. The process which obtains the narrow gage with which give mesa etching in the aforementioned surface section of the aforementioned n type silicon-single-crystal substrate except for the portion used as a gage, form a level difference deeper than the aforementioned p type field, and this comes to form p type field in the surface section.

[Claim 12] The manufacture method of the force detection element according to claim 11 characterized by using a SOI (Silicon on Insulator) substrate as a silicon-single-crystal substrate.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] this invention relates to the force detection element using the piezoresistance condenser of a semiconductor which changes compressive force into an electrical signal.

[0002]

[Description of the Prior Art] The force detection element is broadly used as a sensor for detecting compressive force in various fields. Therefore, the capacity which can detect compressive force correctly in various measurement conditions is required of such a force detection element.

[0003] Especially this force detection element is used in many cases on very intense measurement conditions. In recent years, it is especially used in many cases under the environment of an elevated temperature and the high-pressure force as an object for the firing-pressure measurement in the cylinder of an engine, and the combustion control of an engine is performed using the measuring pressure force.

[0004] Therefore, in order to secure reliability, an output high enough is required of the force detection element used under such a situation from a high compression disruptive strength and an electric noise.

[0005] An example of the combustion-pressure sensor concerning the proposal (JP,6-34455,A) of these people's point is shown in drawing 20.

[0006] In the flat-surface schematic diagram and this drawing (b), this drawing (a) expresses the side schematic diagram, respectively.

[0007] This combustion sensor is joined to crystal-face 10a of p conduction-type silicon semiconductor (resistivity 8 ohm-cm, thickness of about 200 micrometers) 10 of the rectangle tabular which possesses crystal-face 10a of (110) as a field where compressive force W is applied, and this silicon semiconductor 10, and it has the force transfer block 30 which transmits compressive force W at right angles to crystal-face 10a, and the directions plinth 20 of the aforementioned silicon semiconductor 10 joined to the side on the other hand. And it is formed so that the combustion gas pressure P in the cylinder of the engine which is not illustrated may act on top-face 30a of the force transfer block 30 perpendicularly as compressive force through a diaphragm.

[0008] If pressure-receiving area of the aforementioned diaphragm is set to A and P and a force conversion efficiency are set to a for a pressure at this time, compressive force W will serve as  $W = P \times A \times a$ .

[0009] Moreover, the input electrode 14 of the couple which carries out phase opposite, and 14' are prepared [ at the aforementioned silicon semiconductor 10 ] in the 45-degree direction from the <110> crystal orientation the counterclockwise rotation, and current is passed from the power supply to the silicon semiconductor 10 through this input-electrode pair 14 and 14'.

[0010] Moreover, from the <001> crystal orientation, the output electrode 12 of a couple and 12' carry out phase opposite, and are prepared [ at the aforementioned silicon semiconductor 10 ] in the 45-degree direction the counterclockwise rotation. From this output-electrode pair 12 and 12', when compressive force W acts at right angles to crystal-face 10a of the silicon semiconductor 10, the voltage corresponding to compressive force W is outputted based on the piezoresistance condenser of a silicon semiconductor. Therefore, compressive force W, as a result the pressure P of combustion gas can be measured by measuring this output voltage.

[0011] That is, when compressive force W is applied to crystal-face 10a of the silicon semiconductor 10 through the force transfer block 30, voltage-output \*\*V is detected between an output electrode 12 and 12'.

[0012]

[Equation 1]

$$\Delta V = I \times R \times \pi_{63} \times \sigma_z = V \times \pi_{63} \times \sigma_z$$

但し、

I : シリコン半導体に流す電流 (A)

R : 入力電極間の抵抗 ( $\Omega$ )

V : シリコン半導体に印加された電圧 (V)

$\pi_{63}$  : 図20の構成をなすシリコン半導体のピエゾ抵抗係数 ( $\text{cm}^2/\text{kg}$ )

$\sigma_z$  : 結晶面10aに作用する圧縮応力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

[0013] In addition (several 1), the shown piezoresistance coefficient  $\pi_{63}$  By the following (several 2) "It is written and shown. Use of Piezoresistive Materials in the Measurement of Displacement, Force, and Torque, R.N.THURSTON, and THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, Vol.29, No.10, OCT, and 1957." For example, in the case of p conduction type of resistivity about 8 ohm-cm, it is calculable as abbreviation-33x10-6cm2/kg.

[0014]

[Equation 2]

$$\pi_{63} \doteq \frac{1}{4} (\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})$$

[0015] In a number (2),  $\pi_{11}$ ,  $\pi_{12}$ , and  $\pi_{44}$  are the piezoresistance coefficients in a legislation crystal, and, in the case of p conductivity-type silicon of resistivity about 8 ohm-cm, are set to  $\pi_{11}=6\text{x}10^{-6}\text{cm}^2/\text{kg}$ ,  $\pi_{12}=-1\text{x}10^{-6}\text{cm}^2/\text{kg}$ , and  $\pi_{44}=138\text{x}10^{-6}\text{cm}^2/\text{kg}$ .

[0016] Therefore, as shown in housing equipped with the diaphragm at drawing 16, measurement of a static pressure can also offer a possible combustion-pressure sensor by carrying out the assembly of the force detection element 2000 which has the silicon semiconductor 10 known as a high elasticity material as a pressure detection means.

[0017]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] although the invention-in-this-application person had recommended research and development to the pan based on the technology about the force detection element mentioned above, he became clear [ the following technical problems ] as the result

[0018] (1) High-sensitivity(high power)-izing and the compression disruptive strength of a force detection element have the relation of a trade-off, and there is a limitation in high sensitivity(high power)-ization naturally from a viewpoint of reliability.

[0019] High reliability is required although it is used under a harsh environment when a force detection element is especially used as a combustion-pressure sensor for automobiles therefore (never breaking especially is important). Therefore, even if it sacrifices a sensor output, the working load field of an element must be limited and priority must be given to reliability. It is difficult to attain the large improvement in sensor sensitivity from such a situation.

[0020] (2) In the case of a mounted use, a cure (getting it blocked compensation of the temperature characteristic of a sensor output) to temperature is important especially. The technique of giving reverse \*\*\*\* to the input resistance of a force detection element, and canceling property change is effective in \*\*\*\* compensation of a sensor output. And in order to obtain \*\*\*\* of resistance with such sufficient convenience, it is necessary to use what doped the impurity for high concentration as a semiconductor single crystal which constitutes a force detection element.

[0021] However, the piezoresistance coefficient  $\pi_{63}$  which the input resistance of an element will become low if high high-impurity-concentration diffusion is carried out, and is used for a semiconductor single crystal from the former will become small for the purpose of the improvement in the temperature characteristic of sensor sensitivity. A sensor output (voltage value) becomes very small to a degree, S/N gets worse, and it stops therefore, being equal to actual use. Therefore, in front of this invention, it was difficult to carry out actually technology of the \*\*\*\* compensation using high impurity concentration.

[0022] Therefore, with the element structure which can constitute a bridge circuit only from compressive stress like  $\pi_{63}$ , high high-impurity-concentration diffusion or about [ 1kohm ] input resistance could be secured, sufficient compression disruptive strength was secured, and development of the element structure of having sensitivity sufficient also by high high-impurity-concentration diffusion was desired.

[0023] this invention is for the high high-impurity-concentration diffusion which was made in view of such a technical problem, and the purpose secured sufficient compression disruptive strength, and was excellent in the sensitivity temperature characteristic to also have sufficiently high sensitivity, and offer a force detection element with high precision and reliability.

[0024]

[Means for Solving the Problem] this invention which attains the purpose mentioned above has the following composition.

[0025] (1) The silicon single crystal in which this invention according to claim 1 has a field or the crystal face equivalent to this as a field (110) where compressive force is applied, The force transfer block which fixes with the aforementioned crystal face of the aforementioned silicon single crystal, and transmits the aforementioned compressive force at right angles to the crystal face, The susceptor seat which fixes to a field other than the field which the aforementioned force transfer block of the aforementioned silicon single crystal fixed, and supports this silicon single crystal, In the front face of the aforementioned crystal face which is the force detection element which \*\*\*\*\* and the aforementioned force transfer block of the aforementioned silicon single crystal fixed The compressive force by force transfer block is received, and the gage from which electric resistance changes with the compressive force is formed. the aforementioned gage It is projected and prepared from the bottom of the level difference by forming a level difference in the front face of the aforementioned crystal face. and this gage It is arranged by the configuration with 2 sets of sides which counter, and a Wheatstone bridge is constituted. The longitudinal direction of 1 set of gages of this is the <110> directions or crystal orientation equivalent to this. It is characterized by the longitudinal direction of 1 set of other gages obtaining the voltage output proportional to the compressive force which is the <100> directions or crystal orientation equivalent to this, passed current to the input pole of the aforementioned Wheatstone bridge, and was made to act on the aforementioned force transfer block from an output pole.

[0026] (2) The depth of the level difference in the aforementioned crystal face for this invention according to claim 2 making a gage project The aforementioned force transfer block which deformation produced with the compressive force when compressive force exceeded the specified quantity, A part of field [ at least ] which counters the level difference bottom of the aforementioned silicon crystal face serves as the depth which contacts the level difference bottom of the aforementioned silicon crystal face. When compressive force exceeds the aforementioned specified quantity by this, it is characterized by for the contact portion of the level difference bottom of a force transfer block and the silicon crystal face working as a stopper, sharing the aforementioned compressive stress, and supporting.

[0027] (3) Set this invention according to claim 3 to the aforementioned crystal face of a silicon single crystal. It connects [ level difference / 1st / for making a gage project ], and the 2nd level difference shallower than the 1st level difference is prepared. by adjustment of the depth of these the 1st and 2nd level differences The aforementioned force transfer block which deformation produced with the compressive force when compressive force exceeded the specified quantity contacts only the bottom of the 2nd level difference of the above. When the bottom of the 1st level difference cannot be contacted now and compressive force exceeds the aforementioned specified quantity by this, it is characterized by for the contact portion of the level difference bottom of the above 2nd of a force transfer block and the silicon crystal face working as a stopper, sharing the aforementioned compressive stress, and supporting.

[0028] this invention according to claim 4 (4) A gage It is arranged by the configuration of the square which has 2 sets of parallel sides mutually on the aforementioned crystal face. 1 set of the vertical angle of four bond parts of a \*\*\*\*\* gage which faced each other is made into an input pole. The voltage output proportional to the compressive force which other 1 set was made [ compressive force ] into the output pole, and current was passed [ compressive force ] to the input pole, and made the force transfer block act on an output pole is obtained. Moreover, it is characterized by arranging each gage so that the compressive force by force transfer block may be added to each gage which constitutes each side of the aforementioned square.

[0029] (5) Each gage with which this invention according to claim 5 constitutes each square side is characterized by being prepared near the neutral line of the direction stress of a flat surface generated by compressing a force transfer block.

[0030] (6) It is characterized by for this invention according to claim 6 serving as a field of the aforementioned gage which projected from the level difference bottom where, as for the surface portion, p type impurity was introduced at least, and the temperature characteristic of the resistance of the aforementioned gage being the temperature characteristic which compensates change depending on the temperature of the force detection sensitivity property at the time of impressing a constant voltage to an input pole by this.

[0031] (7) this invention according to claim 7 is characterized by the concentration of p type impurity serving as one of order of the order of  $1 \times 10^{18}$  atoms/cm<sup>3</sup>, or the order of  $1 \times 10^{20}$  atoms/cm<sup>3</sup>.

[0032] (8) this invention according to claim 8 is characterized by establishing the guard bank where it comes to



dissociate the gage electrically by projecting from a level difference bottom to the same extent as the gage in the both sides of the aforementioned gage which projected from the level difference bottom.

[0033] (9) this invention according to claim 9 is projected from the surface level difference bottom of the crystal face to the same extent as the aforementioned gage to the aforementioned crystal face of a force transfer block and the aforementioned silicon single crystal which fixes, and is characterized by preparing the support height for supporting a part for the center section of the aforementioned force transfer block from which the gage is separated electrically at it.

[0034] (10) this invention according to claim 10 is characterized by using  $\pi_{13}$  as a piezoresistance coefficient in the aforementioned gage used for detection of compressive force.

[0035] (11) The manufacture method of the force detection element of this invention according to claim 11 The silicon single crystal which has a field or the crystal face equivalent to this as a field (110) where compressive force is applied, The force transfer block which fixes with the aforementioned crystal face of the aforementioned silicon single crystal, and transmits the aforementioned compressive force at right angles to the crystal face, It fixes to a field other than the field which the aforementioned force transfer block of the aforementioned silicon single crystal fixed. In the front face of the aforementioned crystal face which possessed the susceptor seat which supports this silicon single crystal, and the aforementioned force transfer block of the aforementioned silicon single crystal fixed The compressive force by force transfer block is received, and the gage from which electric resistance changes with the compressive force is formed. the aforementioned gage It is projected and prepared from the bottom of the level difference by forming a level difference in the front face of the aforementioned crystal face. and as a process which forms the aforementioned silicon single crystal which the surface portion of the gage which projected from this level difference bottom is the method of manufacturing the force detection element used as p type field, and includes p type field in the aforementioned gage row The process which introduces p type impurity into the surface section of n type silicon-single-crystal substrate, and forms p type field, It is characterized by having the process which obtains the narrow gage with which give mesa etching in the aforementioned surface section of the aforementioned n type silicon-single-crystal substrate except for the portion used as a gage, form a level difference deeper than the aforementioned p type field, and this comes to form p type field in the surface section.

[0036] (12) this invention according to claim 12 is characterized by using a SOI (Silicon on Insulator) substrate as a silicon-single-crystal substrate in a claim 11.

[0037]

[Function]

(1) In this invention of a claim 1, form the narrow gage which projected from the mesa bottom of a semiconductor single crystal, and this gage receives the compressive force of a force transfer block. Therefore, conventionally which had received compressive force in respect of the single crystal, pressure-receiving area is small, therefore big compressive stress acts with a gage unlike structure, and detection sensitivity is high.

[0038] That is, it is expressed compressive-force  $W = P(\text{pressure}) \times A(\text{pressure-receiving area}) \times \alpha$  (force conversion efficiency : ratio of the force which the fixed part of a diaphragm takes charge of, and the force of acting as compressive force  $W$ ). Therefore, in order to set compressive force  $W$  constant and to enlarge stress (an output is proportional to piezoresistance-coefficient  $\times$  stress) which acts on the detection element section, it is effective to make small pressure-receiving area of the detection element section.

[0039] However, it is checked that effective compressive stress is acting, without causing rapid stress concentration in the measurement gage section, more than compressive stress increases in proportion to the amount which made small pressure-receiving area of a measurement gage field in the integrated analysis (FEM) in consideration of the anisotropy of this invention person's Si of electric field in the case of this invention.

[0040] The piezoresistance coefficient  $\pi_{13}$  which has the maximum sensitivity is used for the structure of such this invention in the  $\langle 110 \rangle$  directions on the field (110) of a silicon single crystal, and it can realize it by adopting the new composition of constituting a bridge.

[0041] (2) In this invention of a claim 2, by adjusting a mesa level difference, realize stopper structure, distribute compressive force and raise pressure-proofing.

[0042] That is, if compressive force increases and deformation (deflection) of a force transfer block becomes large, when a part of base of a force transfer block contacts the mesa bottom of a semiconductor single crystal front face, a stopper is constituted by this surface of action and this stopper shares compressive force by it, the stress concerning a gage will be distributed. 1 micrometer - 3 micrometers are suitable for a mesa level difference.

[0043] (3) Raise the linearity of the output after stopper contact of a force detection element in this invention of a claim 3 by making mesa structure of a semiconductor single crystal front face into two steps of mesa structures which are illustrated by drawing. 7, realizing prompt contact on the force transfer block base after a stopper operation, and the whole base surface of a shallow level difference, and setting constant promptly the touch-area change after a stopper

operation using bending of the force transfer block in a deep mesa level difference.

[0044] That is, in order that the touch area may change little by little in the early stages of the start of a stopper operation so that it may illustrate to drawing 6 in not adopting two-step mesa structure, a provincial accent arises in a detection output. On the other hand, the touch-area change after a stopper operation is promptly saturated with two-step mesa structure (it is got blocked). Since the whole surface of the base region which functions as a stopper of a force transfer block contacts the base of a shallow level difference exactly promptly and the base of a force transfer block can contact the base of a deep level difference no longer, By what a touch area will not change after it and is become fixed [ change ] It can consider as the two-step output type (it has the high sensitivity property region SL 1 and the low sensitivity property region SL 2) which the linearity of the output in the first stage after a stopper operation is improved, therefore also uses a stopper field as a measurement field so that it may be illustrated by drawing 8 . Thereby, measuring range is expandable.

[0045] That is, in the output characteristics of the stopper structure of drawing 8 , it is connected by the amount of [ a part for the bay of a high sensitivity field, and / of a low sensitivity field ] bay in the curvilinear portion. The sensor which has the two-step output characteristics which use both a high sensitivity field and a low sensitivity field can be done by lessening this curvilinear portion in a two-step mesa, and making large a part for the bay of a low sensitivity field.

[0046] (4) In this invention according to claim 4, it is considering as the composition which arranges four gages (Ga1, Ga2, Gb1, Gb2) in a square configuration, and gives the compressive force by force transfer block (60) to all gages so that it may be illustrated by drawing 2 .

[0047] The following two operations are obtained with the composition of this claim.

[0048] \*\* the operation by arranging a gage in a square configuration -- as mentioned above, by projecting and processing a gage, pressure-receiving area is reduced and sensor sensitivity can be improved However, it is tended to destroy [ a gage ] the horizontal component (for it to surely generate according to a structural error) which acts on the front face of a semiconductor single crystal only by making pressure-receiving area small.

[0049] That is, it is tended by the angular moment (exfoliation stress) to destroy the compressive force WP of the direction of slant Gage GX with composition which is illustrated by drawing 4 (a).

[0050] As this cure, it is effective to arrange each gage in the character type of RO, and to arrange around the compression side (base of a force transfer block) of a force transfer block (position which entered inside for a while from each side which was got blocked and has determined the configuration of a compression side) so that it may be illustrated by drawing 4 (b). By such composition, the compressive force WP from the slanting upper part comes to act on each gage as effective compressive force, and the exfoliation stress of the angular moment does not act, but it is hard coming to destroy. Therefore, a disruptive strength-proof improves.

[0051] \*\* the operation by giving the compressive force by force transfer block to all four gages -- as mentioned above, pi 13 becomes effective, when arranging a gage to a square (character type of RO) These pi 13 has the maximum sensitivity in the <110> directions of a field (110), and if it is sensitivity 0 in the <100> directions, therefore arranges a gage in the direction according to claim 1 and constitutes a Wheatstone bridge, it can obtain the output of a half bridge with full bridge composition.

[0052] However, the gage (Gd1, Gd2) of the <100> directions is arranged into the portion on which compressive force does not act so that it may illustrate to drawing 5 , if a layout which makes compressive force act only on the gage (Ga1, Ga2) of the <110> directions is adopted, the compressive force of the horizontal component slightly produced by horizontal deformation of not only compressive force lengthwise [ effective ] but a gage will give a gage (Ga1, Ga2), and it is \*\*\*\*. Therefore, the change of pi 13 by regular compressive force is overlapped on a changed part of the piezoresistance coefficient pi 12 ((\*\*) of drawing 18 reference) produced with the unnecessary horizontal stress, and S/N gets worse (signal level falls and the linearity of an output becomes bad).

[0053] Like drawing 4 as this cure, if compressive force is made to act also on the gage (Gb1, Gb2) of the <100> directions The direction of change of pi 12 produced on the gage (Gb1, Gb2) of this <100> direction, <110> The direction of the change of pi 12 by the horizontal component produced on the gage (Ga1, Ga2) of a direction becomes reverse (since the gage lies at right angles), therefore change of pi 12 will be offset, and detection sensitivity improves.

[0054] (5) Suppose that it will prepare near the neutral line of the direction stress of a flat surface which generates each gage which constitutes each square (character type of RO) side by compressing a force transfer block in this invention according to claim 5.

[0055] This materializes more description it explained in operation \*\* of a claim 4 "it is effective to arrange around the compression side (base of a force transfer block) of a force transfer block (position which entered inside for a while from each side which was got blocked and has determined the configuration of a compression side)". [ effective ] [ it ]

[0056] Here, "the neutral line of the direction stress of a flat surface" offsets each other and has mutually the level



stress of each direction generated by compression of a force transfer block, and means seemingly the line field which level stress does not produce.

[0057] The symmetric property of right and left of the direction stress of a flat surface generated by a force transfer block deforming by compression and pushing a gage corner aslant by such composition can be secured, it negates each other, stress can be set to 0, compressive force comes to act on each gage as effective compressive force, level exfoliation stress is reduced extremely, and a gage becomes is hard to be destroyed. Therefore, a disruptive strength-proof improves.

[0058] (6) Realize elevated-temperature-proof nature in the self-sensitivity temperature-compensation row of a force detection element in this invention of a claim 6 and a claim 7 taking advantage of the feature of a grid-like narrow gage.

[0059] That is, both the sensor sensitivity (G) by constant-voltage impression and the resistance (R) of a gage change with temperature (T) so that it may be illustrated by the drawing 17 (\*\*) (for example, it has the temperature characteristics G1 and R1 as shown in the drawing 17 (\*\*)).

[0060] And both \*\*\*\* changes depending on high impurity concentration like the properties r1 and g1 shown in the drawing 17 (b). Therefore, compensation of \*\*\*\* is possible by selection of high impurity concentration.

[0061] That is, if the resistance of a gage rises 20% when the constant-current drive of the input pole of a force detection element is carried out and sensor sensitivity falls 20% by the temperature rise at this time, for example, \*\*, by increase of applied voltage, bridge input voltage rises 20% and can compensate a part for a sensitivity fall.

[0062] In the case of a p type semiconductor, the high impurity concentration which closes such \*\*\*\* compensation if possible is in  $1 \times 10^{18}$  atom/cm<sup>3</sup> (A points) and  $1 \times 10^{20}$  atoms/cm<sup>3</sup> (B points) near, and can improve the temperature dependence of sensitivity sharply by this so that it may be illustrated by the drawing 17 (\*\*).

[0063] In this case, in this invention, although the thin projecting gage is used therefore, the cross section is small, and resistance of a gage is formed into high resistance. Therefore, the gage which can secure about [ 1kohm ] input resistance as resistance of a gage also as high high impurity concentration as mentioned above, therefore is fully equal to practical use is producible.

[0064] Moreover, according to this invention, elevated-temperature-proof nature can also improve for the following reasons.

[0065] That is, if it forms p type layer by introduction of p type impurity for an above-mentioned \*\*\*\* compensation in creating a gage in the front face of a n-type-semiconductor substrate, pn junction will be formed inevitably. Since the leakage current of this pn junction increases as ambient temperature becomes an elevated temperature, it serves as a cause with poor \*\*\*\*.

[0066] However, by forming a level difference for a pn junction interface more deeply by mesa etching, a pn junction side can be limited only to a gage section base, a leakage current can be reduced compared with the case where p type layer is uniformly formed in the front face of a semiconductor substrate, and an element strong against an elevated temperature is obtained by this so that it may be illustrated by drawing 15 (c). For example, it becomes usable [ to at least 200 degrees C ].

[0067] Furthermore, if the SOI structure illustrated by drawing 16 (c) is used, since an insulator layer intervenes and pn junction will not be formed, an element more strong against an elevated temperature is obtained.

[0068] (8) Prepare a guard bank in this invention of a claim 8.

[0069] A "guard bank" always supports compressive force, also always supports the horizontal component generated when a force transfer block deforms with compressive force, and has the work which reduces the horizontal component which acts on a gage.

[0070] Therefore, the direction stress of a flat surface generated by a force transfer block deforming by compression and pushing a gage corner aslant is eased in the guard bank section, compressive stress effective in a gage is made to act efficiently, and things can do it. Therefore, improvement in a disruptive strength-proof can be aimed at in a high sensitivity-sized row.

[0071] (9) Prepare a central height (it is also henceforth called the navel section) in this invention of a claim 9. This central height (navel section) always supports compressive force, and mainly carries out the work which suppresses deformation of a force transfer block.

[0072] A stopper contact start load can be enlarged without making a mesa level difference increase according to this navel structure, (without lowering) sensitivity, keeping change of pressure-receiving area very small. Therefore, a high sensitivity field is expanded and it is useful to improvement in design flexibility.

[0073] That is, although it is necessary to make a mesa level difference high in order to make a high sensitivity field large, the limitation of a mesa level difference is about 3 micrometers (if this is exceeded, exposure will fade) by restrictions of the resolution of a photolithography. However, by preparing a navel, the amount which a force transfer

block deforms with compressive force can be decreased to 10 by about 1/, there is nothing as a result with \*\* to which most pressure-receiving area of a high sensitivity field is changed, and the compressive force to which the workability of FOTORISO is secured and a force transfer block begins to contact a stopper can be expanded by 10 times.

[0074] In the stopper structure mentioned above, a stopper start load is decided by the ratio of a measurement gage aspect product and a stopper aspect product, the mesa level difference, the existence of a navel, and the configuration and modulus of direct elasticity of a force transfer block. It is desirable to make a measurement gage aspect product smaller than a stopper aspect product, for making sensitivity high, to attach a navel, to lessen a mesa level difference from the ease of a process, and to make small the modulus of direct elasticity of a force transfer block from control of a stopper start load. At this point, DEBITORON (glass ceramics) is suitable as the quality of the material of a force transfer block.

[0075] (10) In the claim 10, it has clarified using  $\pi_{13}$  as a piezoresistance coefficient in this invention.

[0076] As shown in drawing 18 (a), a piezoresistance coefficient  $\pi_{13}$  has the direction the same as the direction of voltage detection which passes current, and is the name of a piezoresistance coefficient in case uniaxial stress acts on the aforementioned direction and a perpendicular.

[0077] Incidentally, the piezoresistance coefficient  $\pi_{63}$  which was being conventionally used with structure is the name of a piezoresistance coefficient in case uniaxial stress acts on the aforementioned direction and a perpendicular, when the direction of voltage detection and the direction which passes current intersect perpendicularly, as shown in the drawing 18 (b). Moreover, the piezoresistance coefficient  $\pi_{12}$  which became a problem by the claim 4 has the direction the same as the direction of voltage detection which passes current, as shown in the drawing 18 (c), and it is the name of a piezoresistance coefficient in case uniaxial stress acts at a level with the aforementioned direction.

[0078]  $\pi_{13}$  has the maximum sensitivity in the  $\langle 110 \rangle$  directions of a field (110), and if it is sensitivity 0 in the  $\langle 100 \rangle$  directions, therefore arranges a gage in the direction according to claim 1 and constitutes a Wheatstone bridge, it can obtain the output of a half bridge with full bridge composition, so that it may be illustrated by drawing 19 .

[0079] (11) Form a grid (grid)-like gage by the package mesa etch of a semiconductor substrate by the manufacture method of a claim 11. That is, after diffusing an impurity on the whole surface on the front face of main of a semiconductor substrate, a mesa etch is given and a grid-like gage is created. The gage (element) which has the outstanding property which this mentioned above in the easy process can be created.

[0080] (12) By the manufacture method of a claim 12, the gage (element) which can also be used at the elevated temperature of 200 degrees C or more can be obtained by using a SOI (Silicon on Insulator) substrate according to an easy process (it can process at the same process as the process of a package mesa) (since pn junction is not formed).

[0081] (13) By the above this invention, reliability can manufacture the force detection element of high sensitivity also 8 times over the past highly. Therefore, when it uses for a combustion-pressure sensor, the amplifier for amplifying a sensor output may become unnecessary.

[0082] If the amplifier section which occupies one third of the prices of the whole sensor is omissible, low-cost-izing is possible.

[0083]

[Example] Next, the example of this invention is explained with reference to a drawing.

[0084] (1) Example 1 (with complete diffusion, a guard bank, and no navel)

(Whole composition) The perspective diagram of the force detection element 1000 concerning the 1st example of this invention is shown in drawing 1 .

[0085] The force detection element 1000 became the silicon single crystal 40 of a field (110) from the force transfer block 60 made from glass ceramics, and the plinth 70, and has fixed firmly by electrostatic junction, respectively.

[0086] The silicon single crystal 40 of this (110) field is a n-type semiconductor with a resistivity [  $\Omega \cdot \text{cm}$  ] of about 1ohm, and is formed in the shape of (width-of-face  $W_2=1.4\text{mm}$ , length  $L_2=2.0\text{mm}$ , and height  $H_2=0.3\text{mm}$ ) a rectangular parallelepiped.

[0087] The plinth section 70 is formed in the shape of (width-of-face  $W_2=1.4\text{mm}$ , length  $L_2=2.0\text{mm}$ , and height  $H_2=0.5\text{mm}$ ) a rectangular parallelepiped.

[0088] The gage ( $\text{Ga1-Gb2}$ ) of the shape of a character of the mouth of full bridge composition is formed in the silicon-single-crystal front face by the side of the plane of composition of a silicon single crystal 40 and the force transfer block 60 by 10 micrometers of gage widths. This gage diffuses boron all over a n-type-semiconductor front face, forms the p type semiconductor layer (reference number 41 of drawing 3 ) of 0.001-ohmcm, and is formed by processing 3 micrometers by mesa etching except for a gage ( $\text{Ga1-Gb2}$ ), the lead section 43, and the electrode section (44a1 to 44b2).

[0089] The force transfer block 60 which becomes a gage ( $\text{Ga1-Gb2}$ ) from the glass ceramics which fixed firmly by electrostatic junction is formed in a rectangular parallelepiped configuration (width-of-face  $W_2=1.0\text{mm}$  and length

L2=0.5mm), and the compressive force W applied at the top-face 60a is transmitted at right angles to a gage (Ga1-Gb2).

[0090] What expressed with the spherical coordinate system the sensitivity of the piezoresistance coefficient  $\pi_{13}$  which determines the piezoresistance condenser which acts on a gage with this compressive force W is shown in drawing 19.

[0091] The longitudinal direction of 1 set of other gages Gb1 and Gb2 is produced for the longitudinal direction of 1 set of gages Ga1 and Ga2 with which the configuration of the character of RO faced each other in the <100> directions in the <110> directions, and the lead section 43 is taken out from four bond parts of a \*\*\*\*\* gage.

[0092] The lead section 43 consisted of the same p type semiconductor as a gage (Ga1-Gb2), and is electrically connected to the electrode section 44a1 to 44b2.

[0093] The electrode section 44a1 to 44b2 has the thickness of about 1 micrometer. A reference number 44a1 and 44a2 are input poles, and 44b1 and 44b2 are output poles. If fixed current is passed to the input pole, the voltage output V proportional to the compressive force W which made the force transfer block 60 act on an output pole will be obtained. This voltage output V, compressive force W, and the related formula of a piezoresistance coefficient  $\pi_{13}$  are shown in (several 3).

[0094]

[Equation 3]

$$\Delta V = V_{in} \cdot \sum_{i=1}^n \{ \pi_{13} (\sigma_i) i + \pi_{12} (\sigma_i) i + \pi_{11} (\sigma_i) i \} / (2 R_1 + \Delta R_2)$$

但し、 $R_1 = \langle 100 \rangle$  方向のゲージの抵抗

$R_2 = \langle 110 \rangle$  方向のゲージの抵抗変化

i は  $\langle 110 \rangle$  方向ゲージを n 分割したうちの一つ。

[0095] Moreover, a piezoresistance coefficient  $\pi_{13}$  can be expressed in writing, as shown in following (several 4).

[0096]

[Equation 4]

$$\pi_{13} = \frac{1}{2} (\pi_{11} + \pi_{12} - \pi_{44})$$

但し、 $\pi_{12} \ll (\pi_{11} - \pi_{44})$

[0097] (Structure of a combustion-pressure sensor) The combustion-pressure sensor 1100 which carried out the assembly of the force detection element 1000 of this example as a pressure detection means is shown in drawing 13.

[0098] This combustion-pressure sensor 1100 contains the tubed housing 80 equipped with the metal diaphragm 82, and the force detection element 1000 attached and fixed in this housing 80.

[0099] The wall surface of the cylinder head of the engine which is not illustrated is equipped with housing 80, and it is formed so that the cylinder internal pressure P operation of may be done at the metal diaphragm 82.

[0100] In housing 80, the force detection element 1000 uses for and attaches the seal terminal 90, and is fixed, and the crowning 62 of the force transfer block 60 has become dome shape-like, and touches the rear-face side of the metal diaphragm 82.

[0101] Therefore, with the metal diaphragm 82, the pressure P in a cylinder is changed as compressive force W, is transmitted to the top face 62 of the force transfer block which constitutes the force detection element 1000, and, finally acts on the crystal face (110) of the silicon semiconductor of drawing 1 as compressive stress.

[0102] Moreover, the lead pins 92a, 92b, 92c, and 92d (only 92a and 92b are shown in drawing 13) are formed in the seal terminal 90. And as for the electrode 44a1 of a lead pins [ 92a, 92b, 92c, and 92d ] upper limit and the force detection element 1000, 44a2, 44b1, and 44b2, electrical installation is made in with a diameter of 50 micrometers bonding wire 94a etc.

[0103] When the cylinder internal pressure P acts on the diaphragm 82 of the combustion-pressure sensor 1100, this pressure P is transmitted to the force detection element 1000 as compressive force W, and is changed into voltage-output \*\*V based on the piezoresistance condenser of the silicon semiconductor 40 shown above (several 4).

[0104] Therefore, the cylinder internal pressure  $P$  can be measured correctly, without being influenced of disturbance etc. In addition, as a silicon semiconductor of others which can use a piezoresistance coefficient  $\pi_{13}$  effectively, although p conduction-type (111) side, a field (211), and n conductivity-type (100) side exist, p conductivity-type (110) side has the largest coefficient.

[0105] (The feature of this example)

\*\* As the feature of this example is first shown in drawing 3 (a), each gage (only Ga1 and Ga2 are shown by drawing 3) is processed as a narrow gage which projected from the semiconductor substrate (mesa bottom), As shown in a row at drawing 3 (b), by adjustment of a mesa level difference When a load exceeds the specified quantity, it is the stopper fields' (a part of base's of the force transfer block 60 a row's mesa level difference bottom's of n type silicon substrate) STP1-STP4 contacting mutually, and a stopper's acting, and sharing compressive force ( $W$ ). The compressive force concerning the gage which was solidified by this stopper operation and became thin is shared, and a disruptive strength improves.

[0106] The output characteristics of the sensor of this example are shown in drawing 6. The high sensitivity property S1 is a property in the state where a stopper is not acted, and the low sensitivity property S2 is a property after a stopper acts. The stopper operation start load is shown as WP1 among drawing.

[0107] The property of a sensor output over the compressive load of this example is shown in drawing 12. A characteristic curve D1 shows the property of this example.

[0108] \*\* Other features of this example are that the compressive stress of the force transfer block 60 acts on that four gages Ga1, Ga2, Gb1, and Gb2 are arranged by the character type (square configuration) of a mouth, and a row at all of these gages, as shown in drawing 2.

[0109] Although a silicon gage shows a disruptive strength very strong against vertical compressive force, therefore horizontal stress and a perpendicular direction pull it and there is a property to be weak in the force, in this example, composition like drawing 4 (a) is not taken, but like drawing 4 (b), a gage (Ga1, Ga2) is arranged around the force transfer block 60 (the near neutral line of plane stress), and it is reducing horizontal stress.

[0110] That is, by producing the gage section of the configuration of the character of RO near the neutral line of the direction stress of a flat surface generated by compressing the force transfer block 60, the both sides of the direction stress of a flat surface of a gage can be balanced, and mild \*\* of the direction stress of a flat surface to a gage becomes possible.

[0111] moreover, if it is the structure (others -- 1 set of gages Gd1 and Gd2 are not compressed) which compresses only 1 set of gages (Ga1, Ga2) as shown in drawing 5, since the influence of piezoresistance coefficients other than  $\pi_{13}$  by horizontal extension of a gage will appear in a detection output directly and sensitivity will fall, it is made to compress all gages to be shown in drawing 2

[0112] In this case, change is offset and it is ceased to affect an output, since change of piezoresistances other than  $\pi_{13}$  with a sign opposite to the gage which intersects perpendicularly arises.

[0113] \*\* By this example, as shown in drawing 3, diffusion of high-concentration p type impurity is made by the amount of [ which receives directly the compressive force of a gage Ga1 and Ga2 grade ] point again. This high impurity concentration is the concentration of A points or the order of B points of the drawing 17 (b), and, thereby, an automatic compensation of \*\*\*\* of a sensor output is made.

[0114] \*\* Further, by this example, since the cross section of a gage is small, high high impurity concentration can also secure about [ 1kohm ] input resistance, and the gage borne at real use can be obtained. Moreover, pn junction arises only in the gage section, but can reduce the leakage current from the pn junction accompanying elevated-temperature-izing of environmental temperature. Therefore, about at least 200 degrees C can use it.

[0115] (2) Example 2 (two-step mesa structure)

The 2nd example of this invention is shown in drawing 7. In this example, two steps of mesa etching is given to the front face of n type single crystal silicon 40, and the 1st mesa section MS 1 of a shallow level difference and the 2nd mesa section MS 2 of a deep level difference are formed in it.

[0116] In this case, a part of base of the force transfer block 60 corresponding to this field functions on the shallow base row of the 1st mesa section MS 1 of a level difference as stoppers STP1-STP4, and the level difference is adjusted so that the portion corresponding to the 2nd mesa section MS 2 of a deep level difference may not function as a stopper.

[0117] Consequently, since bending of the force transfer block 60 arises in the 2nd mesa section MS 2, a stopper works promptly in the 1st shallow mesa section MS 1 by this and change does not arise in a touch area after that, as shown in drawing 7 (b), As shown in drawing 8, the linearity of a force detection output improves (\*\*\*\* in the early stages of the stopper operation resulting from change of a touch area which is looked at by drawing 6 decreases).

[0118] That is, according to double mesa structure, touch-area change after stopper field contact can be promptly

carried out to regularity, and, thereby, it can consider as the two-step output type which also uses a low sensitivity field as a measurement field. Therefore, measuring range can be expanded and only a required portion can be measured now by high sensitivity.

[0119] (3) Example 3 (a guard bank, those with a navel)

Composition a guard bank and with a navel shows the perspective diagram of the force detection element which produced gages Ga1-Gb2 by complete diffusion to drawing 9.

[0120] The feature of this example separates a 1 to 5 times as much distance as the width of face of this gage on both sides of the gages Ga1-Gb2 arranged by the configuration of the character of RO, and has the shape of a gage, the same quality, and isomorphism. The guard bank K1 which has not been electrically connected to the gage section - K5 are prepared, and relief of the direction stress of a flat surface to a gage and stress concentration of a gage shoulder are eased by this guard bank. It is having formed in the row the central height (navel section) HA which has not connected with a gage electrically in a gage, the same quality, and this height near the center of the gage of the configuration of the character of RO, and having enlarged the stopper contact start load according to this navel structure, making pressure-receiving area change into smallness extremely (\*\* which does not lower sensitivity).

[0121] as the guard banks K1-K1 are shown in drawing 10, it is individually prepared in the outside of gages Ga1-Gb2, and guard bank K5 is boiled inside gages Ga1-Gb2, and is prepared in one

[0122] moreover, the thing to establish for the navel section HA which has not been electrically connected to a gage in a gage, the same quality, and this height near the center of the gage of the configuration of the character of RO -- navel structure -- pressure-receiving area change \*\*\*\*\* -- a stopper contact start load can be enlarged, maintaining small. The load-output characteristics at this time are shown in drawing 12. A characteristic curve D2 is the property of this example. It turns out that property ratio \*\* of the structure of drawing 1 and destructive pressure-proofing are quite high.

[0123] According to this example, as shown in drawing 11 (b), the central height (navel section) HA always supports the force transfer block 60, the deformation is suppressed, in order to, share the compressive force which requires the guard bank K1 - K5 for a gage on the other hand, there are few burdens concerning a gage than the structure of drawing 1 shown in drawing 11 (a), and, therefore, pressure-proofing improves like drawing 12.

[0124] (4) Example 4 (mesa package process)

A mesa package process as considered as the technique of producing efficiently the force detection element (semiconductor device) of the structure mentioned above and shown in drawing 15 is effective.

[0125] By this method, first, as shown in drawing 15 (a), p type impurity is diffused in n type silicon-single-crystal substrate 40, and p type diffusion layer 41 with a depth of about 1 micrometer is formed in the whole surface from a front face at it.

[0126] Next, as shown in this drawing (b), it leaves the gage section, the lead section, and the electrode section, and mesa etching of about 3 micrometers is given, and the stopper section, a gage (Ga1, Ga2 grade), the lead section, and the electrode section are formed collectively.

[0127] By such manufacture method, the semiconductor device of this invention shown in drawing 1 or drawing 9 can be formed efficiently.

[0128] (5) Example 5 (mesa package process using the SOI substrate)

In this example, the semiconductor device concerning this invention shown in drawing 1 or drawing 9 is manufactured using a SOI substrate.

[0129] Although there is a method of using epitaxial growth technology, silicon wafer direct junction (SDB) technology, and SIMOX technology as a means to realize the silicon substrate of SOI structure, in this example, a SOI substrate is created by the SIMOX method.

[0130] That is, first, as shown in drawing 16 (a), an oxygen (O2) atom is driven in from the front face of n type silicon semiconductor substrate 40, O2 is activated with heat treatment, and an insulating layer (silicon oxide of the reference number 45 of this drawing (b)) is formed in the interior of the front face of a silicon substrate.

[0131] Then, as shown in drawing 16 (b), boron (B) is diffused on the whole surface and high-concentration p type layer 41 is formed.

[0132] Next, as shown in drawing 16 (c), mesa etching is given, and a gage Ga1 and Ga2 grade are formed.

[0133] Pn junction is not formed, and a leakage current does not arise under an elevated temperature, but the gage of SOI structure can be used also in a temperature environment 200 degrees C or more.

[0134] Such a semiconductor gage of SOI structure is used assembling it like drawing 14.

[0135] In drawing 14, the semi-sphere-like head 62 is formed in the crowning of the force transfer block 60. The touch area of the metal diaphragm 82 shown in drawing 13 and the force transfer block 60 becomes small by this, direct heat conduction from the hot metal diaphragm 82 to a force detection element decreases, and the temperature rise of a force



detection element can be suppressed. Therefore, the adoption effect of the gage of SOI structure is suited, and it waits and has the structure where it is suitable with the use under an elevated temperature.

[0136] As mentioned above, although this invention was explained based on the example, this invention is not limited to these and can deform variously. For example, although each example shown above explained this invention taking the case of the case where it applies to a combustion-pressure sensor, this invention can be broadly used in various fields not only this but other than this.

[0137]

[Effect of the Invention] According to this invention, the following effects can be acquired as explained above.

[0138] (1) In this invention of a claim 1, since the narrow gage which projected from the mesa bottom of a semiconductor single crystal is formed and this gage receives the compressive force of a force transfer block, pressure-receiving area can be small, therefore big compressive stress can act with a gage, and force detection sensitivity can be raised extremely.

[0139] (2) In this invention of a claim 2, by adjusting a mesa level difference, stopper structure can be realized, compressive force can be distributed and pressure-proofing can be raised.

[0140] (3) In this invention of a claim 3, the linearity of the output of a force detection element can be raised by adopting two steps of mesa structures as a semiconductor single crystal front face.

[0141] (4) In this invention of a claim 4, improvement in the disruptive strength-proof of an element and high sensitivity-ization of an element can be attained by the operation by arranging a gage in a square configuration, and the operation by giving the compressive force by force transfer block at a row to all four gages.

[0142] (5) In this invention of a claim 5, by preparing near the neutral line of the direction stress of a flat surface which generates each gage by compressing a force transfer block, compressive force comes to act on each gage as effective compressive force, level exfoliation stress is reduced extremely, and a gage becomes is hard to be destroyed.

[0143] (6) In this invention of a claim 6 and a claim 7, elevated-temperature-proof nature is realizable for the self-sensitivity temperature-compensation row of a force detection element taking advantage of the feature of a grid-like narrow gage.

[0144] (8) In this invention of a claim 8, by forming a guard bank, the direction stress of a flat surface generated by a force transfer block deforming by compression and pushing a gage corner aslant can be eased, and improvement in a disruptive strength-proof can be aimed at in the high sensitivity-ized row of an element.

[0145] (9) A stopper contact start load can be enlarged in this invention of a claim 9, without making a mesa level difference increase (without lowering) sensitivity keeping change of pressure-receiving area very small by preparing a central height (navel section). Therefore, a high sensitivity field is expanded and improvement in design flexibility can be aimed at.

[0146] (10) In the claim 10, it has clarified using  $\pi_{13}$  as a piezoresistance coefficient. It has the maximum sensitivity in the  $\langle 110 \rangle$  directions of a field (110), and  $\pi_{13}$  is sensitivity 0, therefore if it constitutes a Wheatstone bridge in the  $\langle 100 \rangle$  directions, it can obtain the output of a half bridge with full bridge composition in them.

[0147] (11) By the manufacture method of a claim 11, the gage (element) which has the performance which was excellent with the easy process can be created by forming a grid (grid)-like gage by the package mesa etch of a semiconductor substrate.

[0148] (12) By the manufacture method of a claim 12, the gage (element) which can also be used at the elevated temperature of 200 degrees C or more can be obtained by using a SOI (Silicon on Insulator) substrate according to an easy process (it can process at the same process as the process of a package mesa).

[0149] (13) By the above this invention, reliability can manufacture the force detection element of high sensitivity also 8 times over the past highly. Therefore, when it uses for a combustion-pressure sensor, the amplifier for amplifying a sensor output can be done as it is unnecessary. If the amplifier section which occupies one third of the prices of the whole sensor is omissible, low cost-ization of a combustion-pressure sensor can be performed.

[0150]



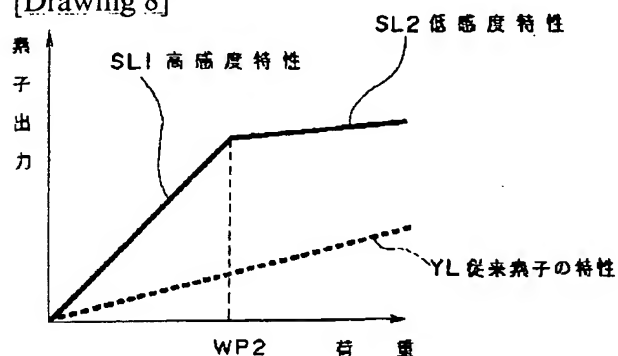
## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

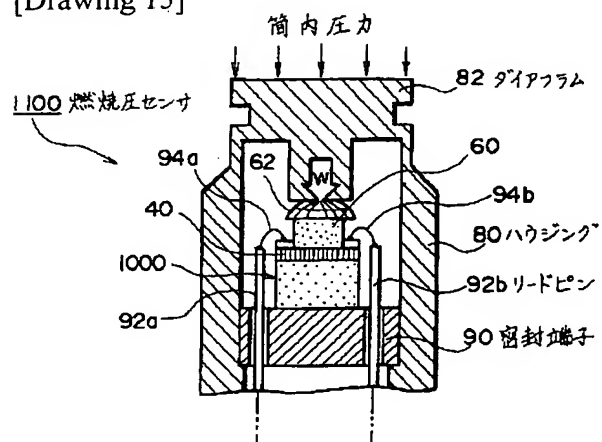
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

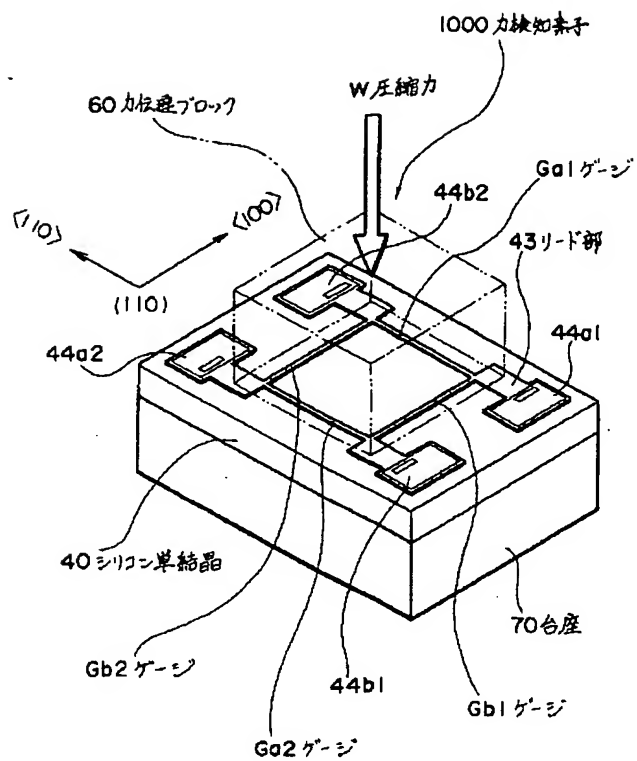
[Drawing 8]



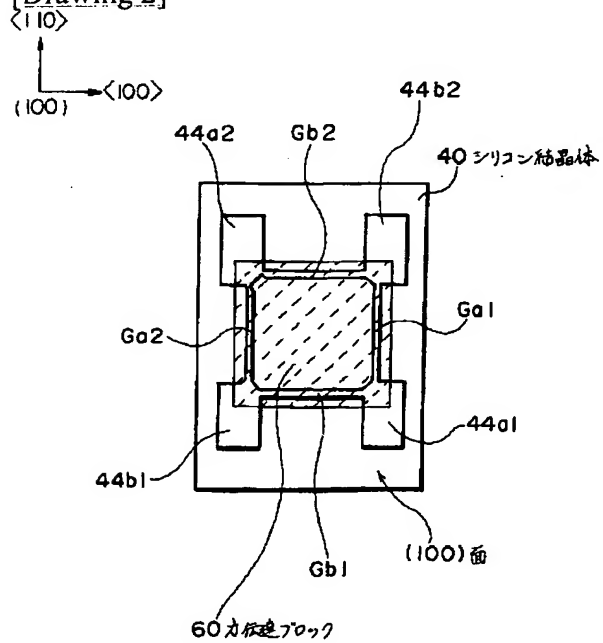
[Drawing 13]



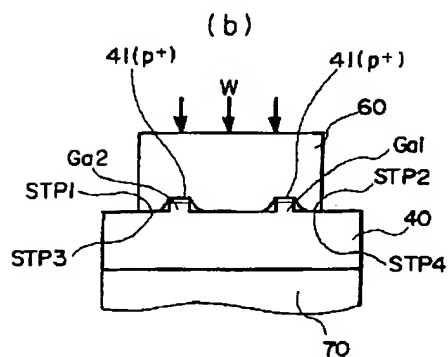
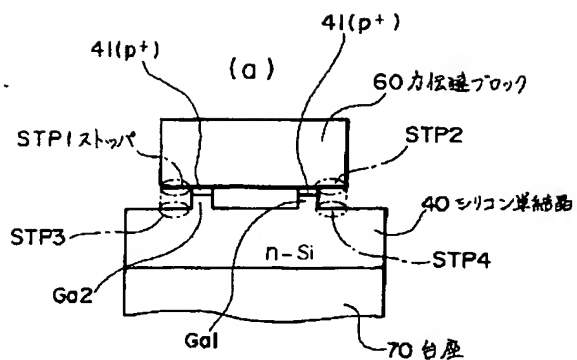
[Drawing 1]



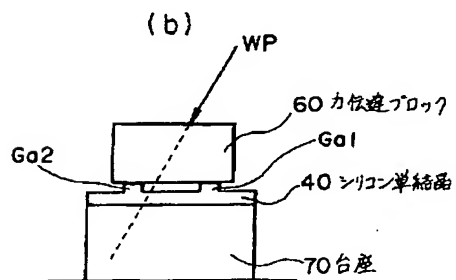
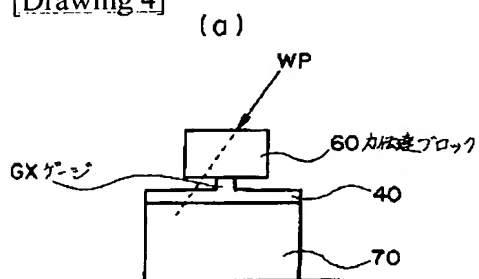
[Drawing 2]



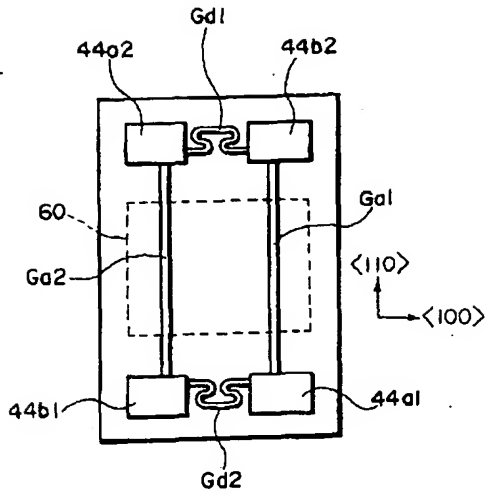
[Drawing 3]



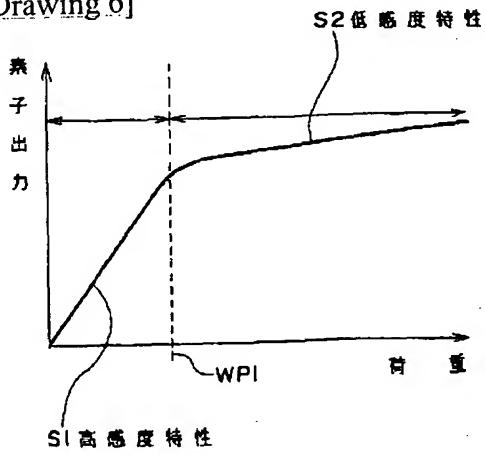
[Drawing 4]



[Drawing 5]

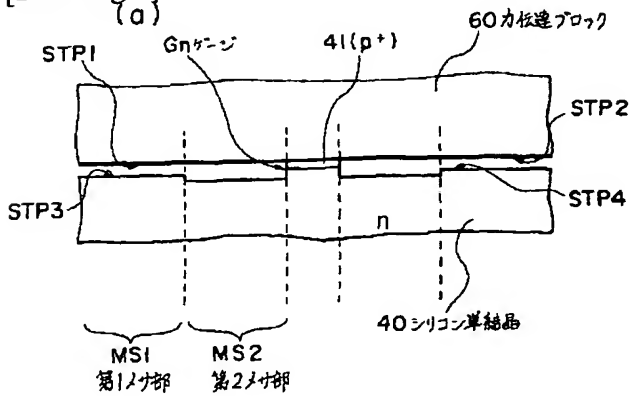


[Drawing 6]

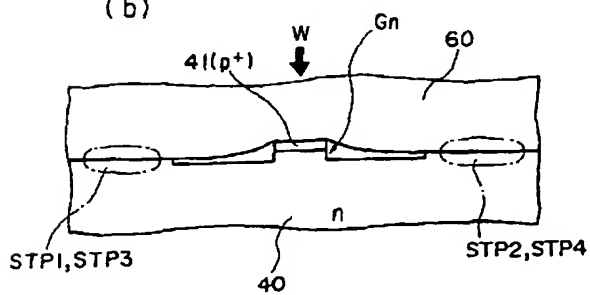


WP; ストップが有効に働きはじめる荷重

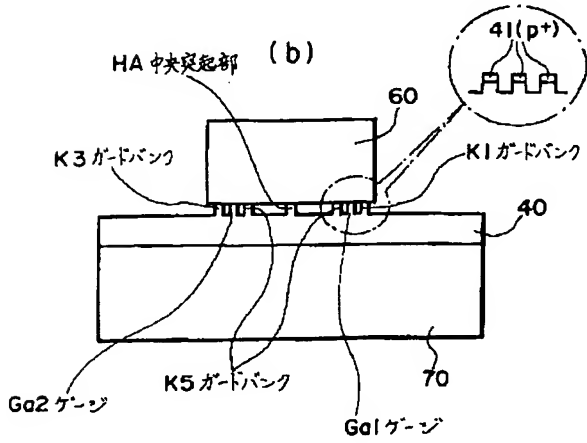
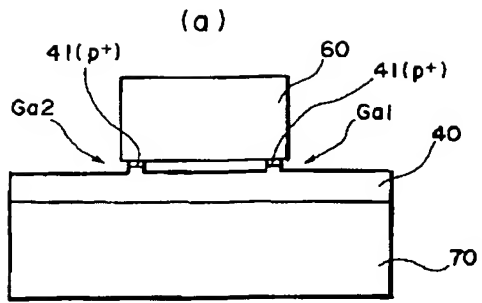
[Drawing 7]  
(a)



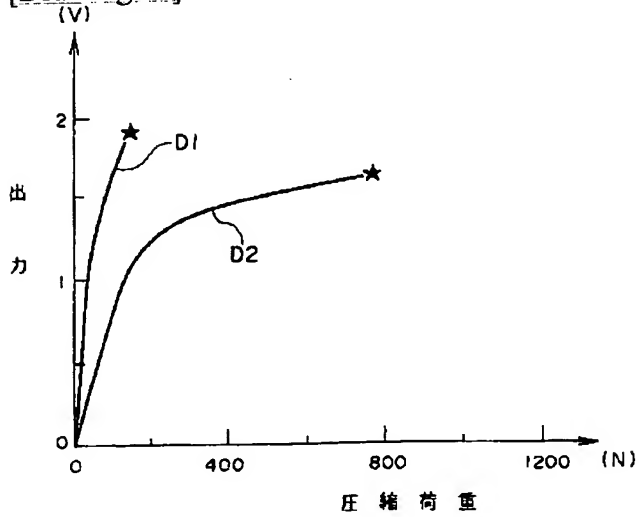
(b)







[Drawing 12]



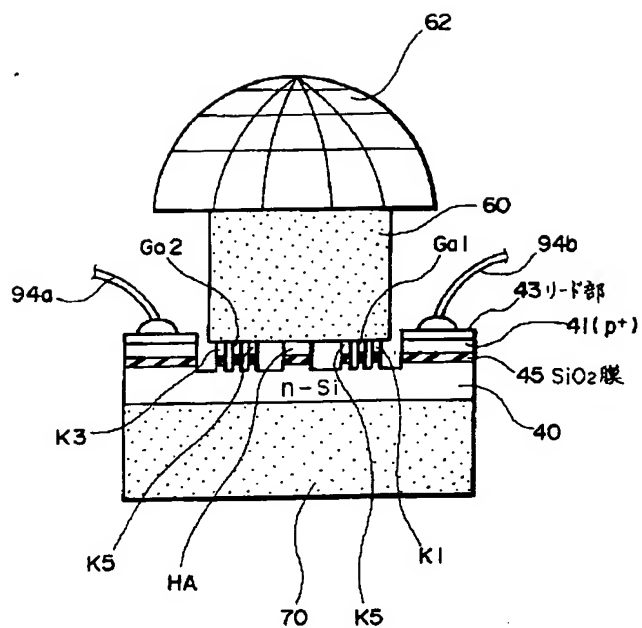
D1; 図1の構成の特性

D2; 図8の構成の特性

★; 破壊点

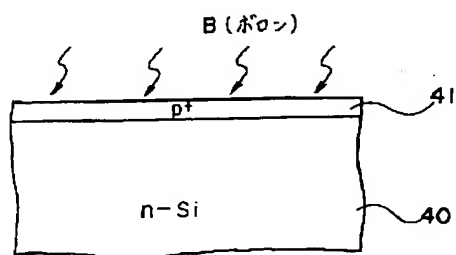
[Drawing 14]



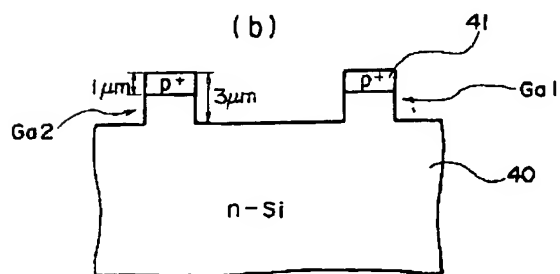


[Drawing 15]

(a)

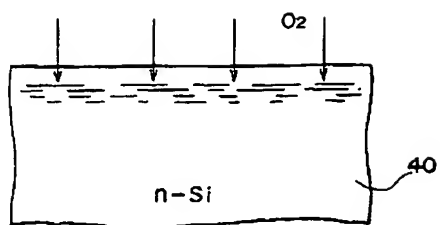


(b)

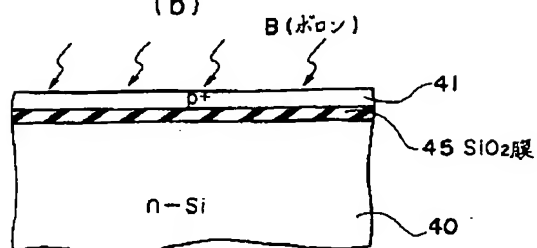


[Drawing 16]

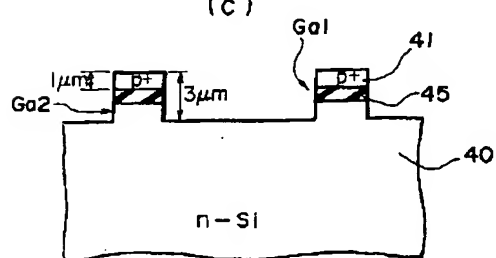
(a)



(b)

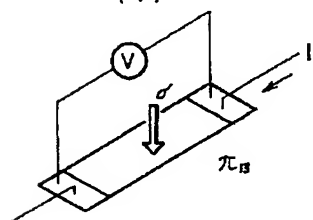


(c)

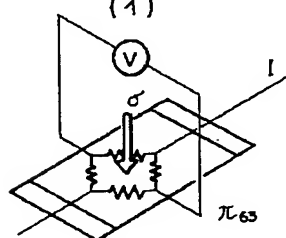


[Drawing 18]

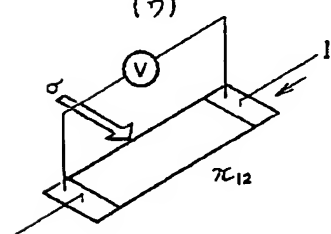
(ア)



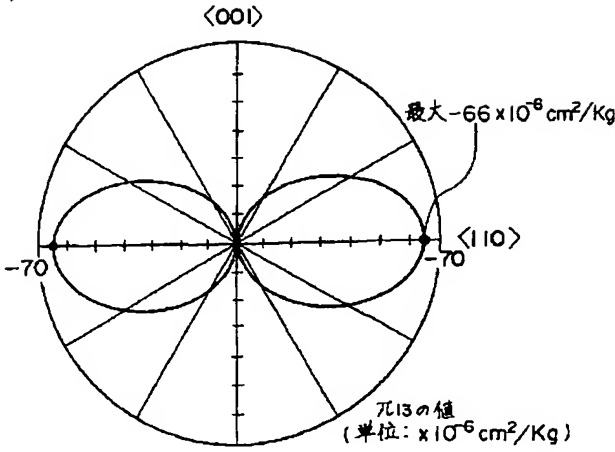
(イ)



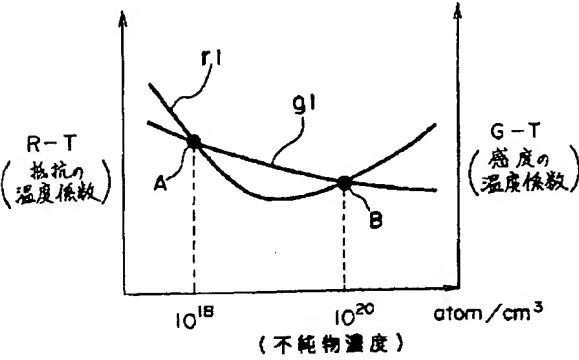
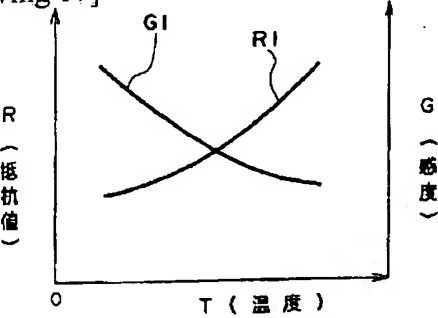
(ウ)



[Drawing 19]

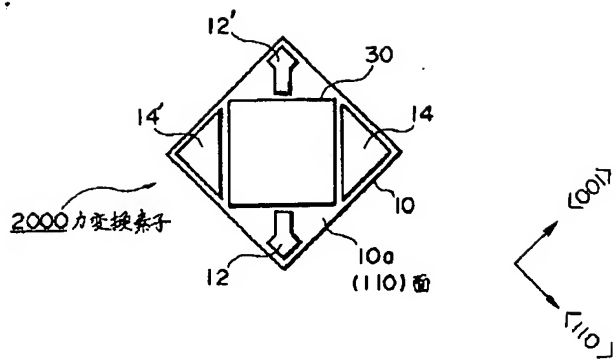


[Drawing 17]

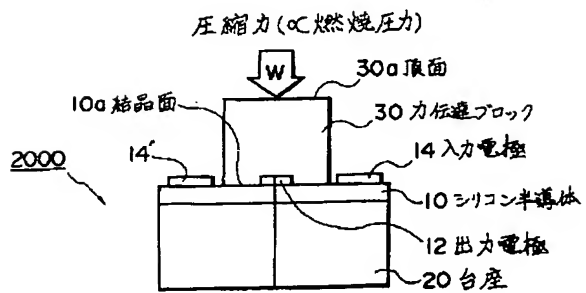


[Drawing 20]

(a)



(b)



[Translation done.]

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08271363 A**

(43) Date of publication of application: **18.10.96**

(51) Int. Cl.

**G01L 9/04**  
**G01B 7/16**  
**G01L 1/18**  
**H01L 29/84**

(21) Application number: **07099683**

(22) Date of filing: **31.03.95**

(71) Applicant: **TOYOTA CENTRAL RES & DEV  
LAB INC**

(72) Inventor: **TSUKADA ATSUSHI  
MORIKAWA KENJI  
NONOMURA YUTAKA  
TOKUMITSU SANAE  
TAKEUCHI MASAHARU  
KAWAGUCHI KAZUYOSHI**

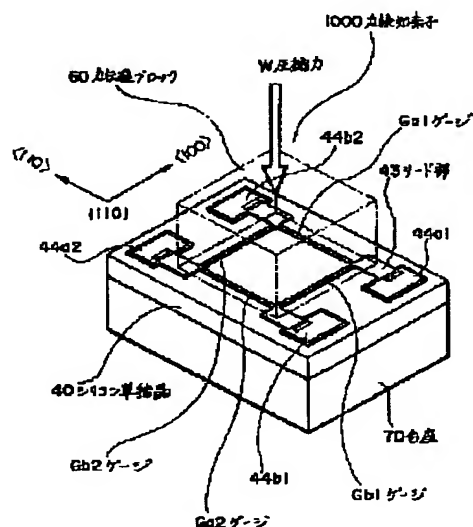
(54) **FORCE DETECTING ELEMENT AND  
MANUFACTURE THEREOF**

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(57) Abstract:

**PURPOSE:** To provide a force detecting element securing sufficient compression breaking strength and having a high output and high reliability.

**CONSTITUTION:** This force detecting element 1000 is constituted of a silicone monocrystal 40 having the 110-plane, a force transmission block 60 made of crystallized glass, and a pedestal 70, and they are firmly fixed by electrostatic connection respectively. Gauges Ga1, Ga2, Gb1, Gb2, lead sections 43, and electrode sections 44a1, 44a2, 44b1, 44b2 are protruded by 1-3 $\mu$ m from a mesa bottom section by mesa etching on the surface of the silicone monocrystal 40 on the connecting face side between the silicone monocrystal 40 and the force transmission block 60. The pressure receiving areas of the gauges are reduced to obtain high sensitivity, and the mesa step is adjusted to realize a stopper structure and secure the breaking strength resistance.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-271363

(43) 公開日 平成8年(1996)10月18日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 L 9/04	1 0 1		G 0 1 L 9/04	1 0 1
G 0 1 B 7/16			G 0 1 B 7/16	
G 0 1 L 1/18			G 0 1 L 1/18	
H 0 1 L 29/84			H 0 1 L 29/84	A

審査請求 未請求 請求項の数12 F D (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平7-99683

(22) 出願日 平成7年(1995)3月31日

(71) 出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1

(72) 発明者 塚田 厚志

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72) 発明者 森川 健志

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1 株式会社豊田中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 布施 行夫 (外2名)

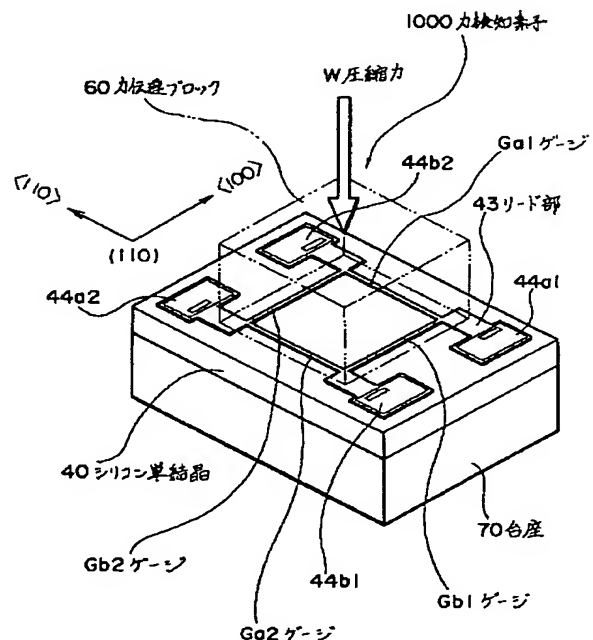
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 力検知素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【目的】 十分な圧縮破壊強度を確保し、高出力かつ高信頼度の力検知素子を提供することである。

【構成】 力検知素子1000は(110)面のシリコン単結晶40と結晶化ガラス製の力伝達ブロック60、台座70からなり、それぞれ静電接合により強固に固着している。シリコン単結晶40と力伝達ブロック60の接合面側のシリコン単結晶40の表面においてメサエッチングにより、ゲージ(Ga1, Ga2, Gb1, Gb2)、リード部(43)、電極部(44a1, 44a2, 44b1, 44b2)がメサ底部より1~3μm突出して形成されている。ゲージの受圧面積の縮小で高感度化を図り、メサ段差の調節によってストップ構造を実現して耐破壊強度を確保する。





## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 圧縮力が加えられる面として (1 1 0) 面またはこれと等価な結晶面を有するシリコン単結晶と、

前記シリコン単結晶の前記結晶面と固着され、前記圧縮力をその結晶面に垂直に伝達する力伝達ブロックと、前記シリコン単結晶の、前記力伝達ブロックが固着された面とは別の面に固着され、このシリコン単結晶を支持する支持台座と、を具備する力検知素子であって、前記シリコン単結晶の、前記力伝達ブロックが固着された前記結晶面の表面には、力伝達ブロックによる圧縮力を受け、その圧縮力によって電気抵抗が変化するゲージが設けられ、

前記ゲージは、前記結晶面の表面に段差を形成することによってその段差の底部より突出して設けられ、かつ、このゲージは、対向する 2 組の辺をもつ形状に配設されてホイートストンブリッジを構成し、このうちの 1 組のゲージの長手方向は < 1 1 0 > 方向またはこれと等価な結晶方向になっており、他の 1 組のゲージの長手方向は < 1 0 0 > 方向またはこれと等価な結晶方向になっており、

前記ホイートストンブリッジの入力極に電流を流し、出力極より前記力伝達ブロックに作用させた圧縮力に比例した電圧出力を得ることを特徴とする力検知素子。

【請求項 2】 ゲージを突出させるための前記結晶面における段差の深さは、圧縮力が所定量を越えた場合に、その圧縮力によって変形が生じた前記力伝達ブロックの、前記シリコン結晶面の段差底部に対向する面の少なくとも一部が、前記シリコン結晶面の段差底部に接触するような深さとなっており、これによって圧縮力が前記所定量を越えた場合に、力伝達ブロックとシリコン結晶面の段差底部の接触部分がストッパとして働いて前記圧縮力を分担して支えるようになっていることを特徴とする、請求項 1 記載の力検知素子。

【請求項 3】 シリコン単結晶の前記結晶面において、ゲージを突出させるための第 1 の段差に接続して、その第 1 の段差よりも浅い第 2 の段差が設けられており、この第 1 および第 2 の段差の深さの調整によって、圧縮力が所定量を越えた場合にその圧縮力によって変形が生じた前記力伝達ブロックは前記第 2 の段差の底部のみに接触し、第 1 の段差の底部には接触し得ないようになっており、これによって圧縮力が前記所定量を越えた場合に、力伝達ブロックとシリコン結晶面の前記第 2 の段差底部の接触部分がストッパとして働いて前記圧縮応力を分担して支えるようになっていることを特徴とする、請求項 1 記載の力検知素子。

【請求項 4】 ゲージは、前記結晶面上において、互いに平行な 2 組の辺をもつ四角形の形状に配設され、隣あったゲージの結合部 4 箇所の、向かいあった対角の 1 組を入力極とし、他の 1 組を出力極とし、入力極に電流を

流して出力極に力伝達ブロックに作用させた圧縮力に比例した電圧出力が得られるようになっており、

また、前記四角形の各辺を構成する各ゲージに対して力伝達ブロックによる圧縮力が加わるように各ゲージが配設されていることを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の力検知素子。

【請求項 5】 四角形の各辺を構成する各ゲージは、力伝達ブロックを圧縮することにより発生する平面方向応力の中立線近傍に設けられていることを特徴とする請求項 4 記載の力検知素子。

【請求項 6】 段差底部から突出した前記ゲージの、少なくとも表面部分は p 型不純物が導入された領域となっており、これによって、前記ゲージの抵抗値の温度特性は、入力極に定電圧を印加した場合における力検知感度特性の温度に依存した変動を補償するような温度特性となっていることを特徴とする請求項 4 または 5 記載の力検知素子。

【請求項 7】 p 型不純物の濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$  のオーダー、あるいは  $1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$  のオーダーの、いずれかのオーダーとなっていることを特徴とする請求項 6 記載の力検知素子。

【請求項 8】 段差底部から突出した前記ゲージの両側に、そのゲージと同程度に段差底部から突出し、かつそのゲージとは電氣的に分離されてなるガードバンクが設けられていることを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の力検知素子。

【請求項 9】 力伝達ブロックと固着される前記シリコン単結晶の前記結晶面には、結晶面の表面段差底部から前記ゲージと同程度に突出し、かつそのゲージとは電氣的に分離されている、前記力伝達ブロックの中央部分を支持するための支持突起部が設けられていることを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の力検知素子。

【請求項 10】 圧縮力の検知に使用される前記ゲージにおけるピエゾ抵抗係数として、 $\pi_{13}$  を使用することを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載の力検知素子。

【請求項 11】 圧縮力が加えられる面として (1 1 0) 面またはこれと等価な結晶面を有するシリコン単結晶と、前記シリコン単結晶の前記結晶面と固着され、前記圧縮力をその結晶面に垂直に伝達する力伝達ブロックと、前記シリコン単結晶の、前記力伝達ブロックが固着された面とは別の面に固着され、このシリコン単結晶を支持する支持台座とを具備し、前記シリコン単結晶の、前記力伝達ブロックが固着された前記結晶面の表面には、力伝達ブロックによる圧縮力を受け、その圧縮力によって電気抵抗が変化するゲージが設けられ、前記ゲージは、前記結晶面の表面に段差を形成することによってその段差の底部より突出して設けられ、かつ、この段差底部から突出したゲージの表層部分は p 型領域となっている力検知素子を製造する方法であって、

前記ゲージならびに p 型領域を含む前記シリコン単結晶を形成する工程として、

n 型シリコン単結晶基板の表面部に p 型不純物を導入して p 型領域を形成する工程と、

ゲージとなる部分を除いて前記 n 型シリコン単結晶基板の前記表面部においてメサエッチングを施して前記 p 型領域よりも深い段差を形成し、これによって表層部において p 型領域が形成されてなる細いゲージを得る工程とを有することを特徴とする力検知素子の製造方法。

【請求項 12】 シリコン単結晶基板として、SOI (Silicon on Insulator) 基板を用いることを特徴とする請求項 11 記載の力検知素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、圧縮力を電気信号に変換する、半導体の圧電抵抗効果を用いた力検知素子に関する。

【0002】

【従来の技術】力検知素子は、各種分野において圧縮力を検知するためのセンサとして幅広く用いられている。従って、このような力検知素子には、種々の測定条件において圧縮力を正確に検知できる能力が要求される。

【0003】特に、この力検知素子は、極めて激しい測定条件で用いられることが多い。近年においては、とりわけエンジンのシリンダ内の燃焼圧力測定用として高温、高圧力の環境下で用いられることが多く、その測定圧力を用いてエンジンの燃焼制御が行われている。

【0004】従って、このような状況の下で使用される力検知素子には、信頼性を確保するために高い圧縮破壊強度と電気ノイズに対して十分に高い出力が要求される。

【0005】図 20 には、本出願人の先の提案（特開平 6-34455 号）にかかる燃焼圧センサの一例が示される。

【0006】同図 (a) はその平面概略図、同図 (b)

$$\Delta V = I \times R \times \pi_{63} \times \sigma_z = V \times \pi_{63} \times \sigma_z$$

但し、

I : シリコン半導体に流す電流 (A)

R : 入力電極間の抵抗 ( $\Omega$ )

V : シリコン半導体に印加された電圧 (V)

$\pi_{63}$  : 図 20 の構成をなすシリコン半導体の圧電抵抗係数 ( $\text{cm}^2/\text{kg}$ )

$\sigma_z$  : 結晶面 10a に作用する圧縮応力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

はその側面概略図をそれぞれ表している。

【0007】この燃焼センサは、圧縮力 W が加えられる面として (110) の結晶面 10a を具備する矩形板状の p 伝導型シリコン半導体 (抵抗率  $8\Omega\text{-cm}$ 、厚み約  $200\mu\text{m}$ ) 10 と、このシリコン半導体 10 の結晶面 10a と接合され、圧縮力 W を結晶面 10a に垂直に伝達する力伝達ブロック 30 と、前記シリコン半導体 10 の他面側に接合された指示台座 20 とを有する。そして、図示しないエンジンのシリンダ内における燃焼ガス圧力 P がダイヤフラムを介し、力伝達ブロック 30 の頂面 30a に圧縮力として垂直に作用するよう形成されている。

【0008】このとき、前記ダイヤフラムの受圧面積を A、圧力を P、力変換効率を a とすると、圧縮力 W は、 $W = P \times A \times a$  となる。

【0009】また、前記シリコン半導体 10 には、その  $\langle 110 \rangle$  結晶方向から反時計回りに  $45^\circ$  の方向に、相対向する一対の入力電極 14、14' が設けられており、この入力電極対 14、14' を介して電源からシリコン半導体 10 に電流を流している。

【0010】また、前記シリコン半導体 10 には、その  $\langle 001 \rangle$  結晶方向から反時計回りに  $45^\circ$  の方向に一対の出力電極 12、12' が相対向して設けられている。この出力電極対 12、12' からは、シリコン半導体 10 の結晶面 10a に垂直に圧縮力 W が作用したときに、圧縮力 W に対応する電圧がシリコン半導体の圧電抵抗効果に基づき出力される。従って、この出力電圧を測定することにより、圧縮力 W、ひいては燃焼ガスの圧力 P を測定することができる。

【0011】すなわち、力伝達ブロック 30 を介してシリコン半導体 10 の結晶面 10a に圧縮力 W が加えられたとき、出力電極 12、12' の間で電圧出力  $\Delta V$  が検出される。

【0012】

【数 1】

【0013】なお (数 1) で示した圧電抵抗係数  $\pi_{63}$  は、次の (数 2) により書き示されることが「Use of Piezoresistive Materia

l sin the Measurement of Displacement, Force, and Torque, R. N. THURSTON, THE JOUR

NAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, Vol. 29, No. 10, OCT, 1957」に開示されており、例えば抵抗率約  $8 \Omega \cdot \text{cm}$  の p 伝導型の場合、約  $-33 \times 10^{-6} \text{cm}^2 / \text{kg}$  として計算できる。

【0014】

【数2】

$$\pi_{63} \doteq \frac{1}{4} (\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})$$

【0015】数(2)において、 $\pi_{11}$ 、 $\pi_{12}$ 、 $\pi_{44}$ は、立法結晶におけるピエゾ抵抗係数で、抵抗率約  $8 \Omega \cdot \text{cm}$  の p 導電型シリコンの場合、 $\pi_{11} = 6 \times 10^{-6} \text{cm}^2 / \text{kg}$ 、 $\pi_{12} = -1 \times 10^{-6} \text{cm}^2 / \text{kg}$ 、 $\pi_{44} = 138 \times 10^{-6} \text{cm}^2 / \text{kg}$  となる。

【0016】従って、ダイアフラムを備えたハウジングに、図16に示すよう、高弾性材料として知られるシリコン半導体10を有する力検知素子2000を、圧力検出手段としてアセンブリすることで、静圧の計測も可能な燃焼圧センサを提供することができる。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】本願発明者は、上述した力検知素子に関する技術に基づき、さらに研究開発をすすめてきたが、その結果として、以下の課題が明らかとなった。

【0018】(1) 力検知素子の高感度(高出力)化と圧縮破壊強度とはトレードオフの関係にあり、信頼性の観点から高感度(高出力)化にはおのずと限界がある。

【0019】特に、力検知素子を自動車用の燃焼圧センサとして用いた場合には、過酷な環境下で使用されるがゆえに高い信頼性が要求される(特に、決して壊れないことが重要である)。したがって、センサ出力を犠牲にしても、素子の使用荷重領域を限定して信頼性を優先させなければならない。このような事情から、センサ感度の大幅な向上を達成するのは困難である。

【0020】(2) 特に、車載用途の場合には、温度に対する対策(つまり、センサ出力の温度特性の補償)が重要である。センサ出力の温特補償には、力検知素子の入力抵抗に逆の温特を持たせて特性変動をキャンセルする手法が有効である。そして、そのような都合のよい抵抗の温特を得るためには、力検知素子を構成する半導体単結晶として高濃度に不純物をドーブしたものを使用する必要がある。

【0021】しかし、センサ感度の温度特性向上を目的に、半導体単結晶に高不純物濃度拡散すると素子の入力抵抗が低くなり、かつ、従来から使用しているピエゾ抵抗係数  $\pi_{63}$  が小さくなってしまふ。したがって、センサ出力(電圧値)が極度に小さくなって S/N が悪化し、現実の使用には耐えなくなる。したがって、本発明前では、不純物濃度を利用した温特補償の技術を現実に実施

することは困難であった。

【0022】したがって、 $\pi_{63}$  と同様に圧縮応力のみで電橋回路が構成できる素子構造で、高不純物濃度拡散でも  $1 \text{k}\Omega$  程度の入力抵抗が確保でき、十分な圧縮破壊強度を確保して、高不純物濃度拡散でも十分な感度を有する素子構造の開発が望まれていた。

【0023】本発明は、このような課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、十分な圧縮破壊強度を確保し、かつ、感度温度特性の優れた高不純物濃度拡散でも十分高い感度を有し、精度と信頼性の高い力検知素子を提供することにある。

【0024】

【課題を解決するための手段】上述した目的を達成する本発明は、以下の構成となっている。

【0025】(1) 請求項1記載の本発明は、圧縮力が加えられる面として(110)面またはこれと等価な結晶面を有するシリコン単結晶と、前記シリコン単結晶の前記結晶面と固着され、前記圧縮力をその結晶面に垂直に伝達する力伝達ブロックと、前記シリコン単結晶の、前記力伝達ブロックが固着された面とは別の面に固着され、このシリコン単結晶を支持する支持台座と、を具備する力検知素子であって、前記シリコン単結晶の、前記力伝達ブロックが固着された前記結晶面の表面には、力伝達ブロックによる圧縮力を受け、その圧縮力によって電気抵抗が変化するゲージが設けられ、前記ゲージは、前記結晶面の表面に段差を形成することによってその段差の底部より突出して設けられ、かつ、このゲージは、対向する2組の辺をもつ形状に配設されてホイートストンプブリッジを構成し、このうちの1組のゲージの長手方向は  $\langle 110 \rangle$  方向またはこれと等価な結晶方向になっており、他の1組のゲージの長手方向は  $\langle 100 \rangle$  方向またはこれと等価な結晶方向になっており、前記ホイートストンプブリッジの入力極に電流を流し、出力極より前記力伝達ブロックに作用させた圧縮力に比例した電圧出力を得ることを特徴とする。

【0026】(2) 請求項2に記載の本発明は、ゲージを突出させるための前記結晶面における段差の深さは、圧縮力が所定量を越えた場合に、その圧縮力によって変形が生じた前記力伝達ブロックの、前記シリコン結晶面の段差底部に対向する面の少なくとも一部が、前記シリコン結晶面の段差底部に接触するような深さになっており、これによって圧縮力が前記所定量を越えた場合に、力伝達ブロックとシリコン結晶面の段差底部の接触部分がストッパとして働いて前記圧縮応力を分担して支えるようになっていることを特徴とする。

【0027】(3) 請求項3に記載の本発明は、シリコン単結晶の前記結晶面において、ゲージを突出させるための第1の段差に接続して、その第1の段差よりも浅い第2の段差が設けられており、この第1および第2の段差の深さの調整によって、圧縮力が所定量を越えた場合

にその圧縮力によって変形が生じた前記力伝達ブロックは前記第 2 の段差の底部のみに接触し、第 1 の段差の底部には接触し得ないようになっており、これによって圧縮力が前記所定量を越えた場合に、力伝達ブロックとシリコン結晶面の前記第 2 の段差底部の接触部分がストップパとして働いて前記圧縮応力を分担して支えるようになっていることを特徴とする。

【0028】(4) 請求項 4 に記載の本発明は、ゲージは、前記結晶面上において、互いに平行な 2 組の辺をもつ四角形の形状に配設され、隣あったゲージの結合部 4 箇所の、向かいあった対角の 1 組を入力極とし、他の 1 組を出力極とし、入力極に電流を流して出力極に力伝達ブロックに作用させた圧縮力に比例した電圧出力が得られるようになっており、また、前記四角形の各辺を構成する各ゲージに対して力伝達ブロックによる圧縮力が加わるように各ゲージが配設されていることを特徴とする。

【0029】(5) 請求項 5 に記載の本発明は、四角形の各辺を構成する各ゲージは、力伝達ブロックを圧縮することにより発生する平面方向応力の中立線近傍に設けられていることを特徴とする。

【0030】(6) 請求項 6 に記載の本発明は、段差底部から突出した前記ゲージの、少なくとも表面部分は p 型不純物が導入された領域となっており、これによって、前記ゲージの抵抗値の温度特性は、入力極に定電圧を印加した場合における力検知感度特性の温度に依存した変動を補償するような温度特性となっていることを特徴とする。

【0031】(7) 請求項 7 に記載の本発明は、p 型不純物の濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$  のオーダー、あるいは  $1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$  のオーダーの、いずれかのオーダーとなっていることを特徴とする。

【0032】(8) 請求項 8 に記載の本発明は、段差底部から突出した前記ゲージの両側に、そのゲージと同程度に段差底部から突出し、かつそのゲージとは電氣的に分離されてなるガードバンクが設けられていることを特徴とする。

【0033】(9) 請求項 9 に記載の本発明は、力伝達ブロックと固着される前記シリコン単結晶の前記結晶面には、結晶面の表面段差底部から前記ゲージと同程度に突出し、かつそのゲージとは電氣的に分離されている、前記力伝達ブロックの中央部分を支持するための支持突起部が設けられていることを特徴とする。

【0034】(10) 請求項 10 に記載の本発明は、圧縮力の検知に使用される前記ゲージにおけるピエゾ抵抗係数として、 $\pi_{13}$  を使用することを特徴とする。

【0035】(11) 請求項 11 に記載の本発明の力検知素子の製造方法は、圧縮力が加えられる面として (110) 面またはこれと等価な結晶面を有するシリコン単

結晶と、前記シリコン単結晶の前記結晶面と固着され、前記圧縮力をその結晶面に垂直に伝達する力伝達ブロックと、前記シリコン単結晶の、前記力伝達ブロックが固着された面とは別の面に固着され、このシリコン単結晶を支持する支持台座とを具備し、前記シリコン単結晶の、前記力伝達ブロックが固着された前記結晶面の表面には、力伝達ブロックによる圧縮力を受け、その圧縮力によって電気抵抗が変化するゲージが設けられ、前記ゲージは、前記結晶面の表面に段差を形成することによってその段差の底部より突出して設けられ、かつ、この段差底部から突出したゲージの表層部分は p 型領域となっている力検知素子を製造する方法であって、前記ゲージならびに p 型領域を含む前記シリコン単結晶を形成する工程として、n 型シリコン単結晶基板の表面部に p 型不純物を導入して p 型領域を形成する工程と、ゲージとなる部分を除いて前記 n 型シリコン単結晶基板の前記表面部においてメサエッチングを施して前記 p 型領域よりも深い段差を形成し、これによって表層部において p 型領域が形成されてなる細いゲージを得る工程とを有することを特徴とする。

【0036】(12) 請求項 12 に記載の本発明は、請求項 11 において、シリコン単結晶基板として、SOI (Silicon on Insulator) 基板を用いることを特徴とする。

【0037】  
【作用】

(1) 請求項 1 の本発明では、半導体単結晶のメサ底部より突出した細いゲージを設け、このゲージによって力伝達ブロックの圧縮力を受ける。したがって、単結晶面で圧縮力を受けていた従来構造と違い、受圧面積が小さくなっており、したがって、ゲージにより大きな圧縮応力が作用し、検出感度が高い。

【0038】つまり、圧縮力  $W = P$  (圧力)  $\times A$  (受圧面積)  $\times a$  (力変換効率: ダイアフラムの固定部が受持つ力と圧縮力  $W$  として作用する力の比) と表される。したがって、圧縮力  $W$  を一定として、検知素子部に作用する応力 (出力はピエゾ抵抗係数  $\times$  応力に比例する) を大きくするには、検知素子部の受圧面積を小さくするのが有効である。

【0039】但し、本発明者の Si の異方性を考慮した電場の統合解析 (FEM) により、本発明の場合、測定ゲージ領域の受圧面積を小さくした量に比例して圧縮応力が増加する以上に、測定ゲージ部には急激な応力集中を起こすことなく有効な圧縮応力が作用していることが確認されている。

【0040】このような本発明の構造は、シリコン単結晶の (110) 面上で (110) 方向に最大の感度を有するピエゾ抵抗係数  $\pi_{13}$  を使用し、ブリッジを構成するという新規な構成を採用することで実現できる。

【0041】(2) 請求項 2 の本発明では、メサ段差を

調整することによってストッパ構造を実現し、圧縮力を分散させ、耐圧を向上させる。

【0042】つまり、圧縮力が増大して力伝達ブロックの変形（たわみ）が大きくなると、力伝達ブロックの底面の一部が半導体単結晶表面のメサ底部に接触し、この接触領域によってストッパが構成され、このストッパが圧縮力を分担することにより、ゲージにかかる応力を分散させる。メサ段差は $1\mu\text{m}\sim 3\mu\text{m}$ が好適である。

【0043】（3）請求項3の本発明では、半導体単結晶表面のメサ構造を図7に例示されるような2段階のメサ構造とし、深いメサ段差における力伝達ブロックの撓みを利用して、ストッパ作用後の、力伝達ブロック底面と浅い段差の底面全面とのすみやかな接触を実現し、ストッパ作用後の接触面積変化を速やかに一定とすることにより、力検知素子のストッパ接触後の出力のリニアリティを向上させる。

【0044】つまり、2段メサ構造を採用しない場合には、図6に例示するようにストッパ作用の開始の初期において、接触面積が少しづつ変化していくために、検知出力になまりが生じる。これに対し2段メサ構造では、ストッパ作用後の接触面積変化が速やかに飽和する（つまり、速やかに、力伝達ブロックのストッパとして機能する底面域の全面が浅い段差の底面にぴったりと接触し、かつ、深い段差の底面には力伝達ブロックの底面は接触できないようになっているため、それ以降は接触面積が変化しなくなり変化は一定となる）ことにより、図8に例示されるように、ストッパ作用後の初期における出力のリニアリティが改善され、したがって、ストッパ領域も測定領域として使う2段出力型（高感度特性域SL1と低感度特性域SL2を有する）とすることができる。これにより、測定範囲を拡大することができる。

【0045】つまり、図8のストッパ構造の出力特性において、高感度領域の直線部分と低感度領域の直線部分が曲線部分でつながっている。この曲線部分を2段メサで少なくして、低感度領域の直線部分を広くすることにより高感度領域と低感度領域の両方を使用する2段出力特性を有するセンサができる。

【0046】（4）請求項4記載の本発明では、図2に例示されるように、4本のゲージ（Ga1, Ga2, Gb1, Gb2）を四角形の形状に配設し、かつ、全てのゲージに力伝達ブロック（60）による圧縮力を与える構成としている。

【0047】本請求項の構成では、以下の2つの作用が得られる。

【0048】■ゲージを四角形の形状に配設することによる作用

上述のように、ゲージを突出加工することにより受圧面積を減らしてセンサ感度を向上できる。しかし、単に受圧面積を小さくしただけでは、半導体単結晶の表面に作用する水平分力（構造的誤差により必ず発生する）によ

り、ゲージは破壊されやすい。

【0049】すなわち、図4（a）に例示されるような構成では、斜め方向の圧縮力WPによってゲージGXは、回転モーメント（剥離応力）によって破壊されやすい。

【0050】この対策として、図4（b）に例示されるように、各ゲージを口の字型に配設し、かつ、力伝達ブロックの圧縮面（力伝達ブロックの底面）の周辺（つまり、圧縮面の形状を決定している各辺から少し内側に入った位置）に配設することが有効である。このような構成により、斜め上方からの圧縮力WPが有効な圧縮力として各ゲージに作用するようになり、回転モーメントの剥離応力が作用せず、破壊しにくくなる。したがって、耐破壊強度が向上する。

【0051】■4本のゲージ全てに力伝達ブロックによる圧縮力を与えることによる作用

上述のように、ゲージを四角形（口の字型）に配置する場合に有効となるのが $\pi_{13}$ である。この $\pi_{13}$ は、（110）面の〈110〉方向に最大の感度をもち、〈100〉方向には感度0であり、したがって、請求項1に記載の方向にゲージを配置してホイートストンブリッジを構成すると、フルブリッジ構成でハーフブリッジ相当の出力を得ることができる。

【0052】しかし、図5に例示するように、〈100〉方向のゲージ（Gd1, Gd2）を圧縮力の作用しない部分に配置して、〈110〉方向のゲージ（Ga1, Ga2）にのみ圧縮力を作用させるようなレイアウトを採用すると、ゲージ（Ga1, Ga2）には、有効な縦方向の圧縮力のみならずゲージの水平方向の変形によりわずかに生じる水平分力の圧縮力が与えられる。したがって、その不要な水平方向の応力によって生じるピエゾ抵抗係数 $\pi_{12}$ （図18の（ウ）参照）の変化分が、正規の圧縮力による $\pi_{13}$ の変化に重畳されS/Nが悪化する（信号レベルが低下し、出力の直線性が悪くなる）。

【0053】この対策として図4のように、〈100〉方向のゲージ（Gb1, Gb2）にも圧縮力を作用させると、この〈100〉方向のゲージ（Gb1, Gb2）に生じる $\pi_{12}$ の変化の方向と、〈110〉方向のゲージ（Ga1, Ga2）に生じる水平分力による $\pi_{12}$ の変化の方向が逆となり（ゲージが直交しているため）、したがって $\pi_{12}$ の変化が相殺されることとなり、検知感度が向上する。

【0054】（5）請求項5に記載の本発明では、四角形（口の字型）の各辺を構成する各ゲージを、力伝達ブロックを圧縮することにより発生する平面方向応力の中立線近傍に設けることとしている。

【0055】これは、請求項4の作用■において説明した、「力伝達ブロックの圧縮面（力伝達ブロックの底面）の周辺（つまり、圧縮面の形状を決定している各辺から少し内側に入った位置）に配設することが有効であ

る」という記述をより具体化したものである。

【0056】ここで、「平面方向応力の中立線」とは、力伝達ブロックの圧縮によって発生する各方向の水平応力が相互に相殺しあって、見かけ上、水平応力が生じない線領域をいう。

【0057】このような構成により、力伝達ブロックが圧縮により変形してゲージ角部を斜めに押すことにより発生する平面方向応力の左右の対称性が確保でき打ち消し合って応力を 0 にすることができ、圧縮力が有効な圧縮力として各ゲージに作用するようになり、水平の剥離応力が極めて低減されて、ゲージが破壊されにくくなる。したがって、耐破壊強度が向上する。

【0058】(6) 請求項 6 および請求項 7 の本発明では、グリッド状の細いゲージの特徴を活かして、力検知素子の自己感度温度補償ならびに耐高温性を実現する。

【0059】すなわち、図 17 (ア) に例示されるように、定電圧印加によるセンサ感度 (G)、ゲージの抵抗値 (R) は共に温度 (T) によって変化する (例えば、図 17 (ア) に示されるような温度特性 G1、R1 をもつ)。

【0060】そして、両者の温特は、図 17 (イ) に示される特性 r1、g1 のように、不純物濃度に依存して変化する。したがって、不純物濃度の選択によって温特の補償が可能である。

【0061】つまり、力検知素子の入力極を定電流駆動し、このとき、例えば、 $\Delta t$  の温度上昇でセンサ感度が 20% 低下したとき、仮にゲージの抵抗値が 20% 上昇すれば、印加電圧の増大によってブリッジ入力電圧は 20% 上昇して感度低下分を補償することができる。

【0062】このような温特補償を可能ならしめる不純物濃度は、p 型半導体の場合には、図 17 (イ) に例示されるように、 $1 \times 10^{18} \text{ atom/cm}^3$  (A 点) と、 $1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$  (B 点) 近傍にあり、これによって、感度の温度依存性を大幅に改良することができる。

【0063】この場合、本発明では、細い突出したゲージを使用するがゆえに、断面積が小さく、ゲージの抵抗は高抵抗化されている。したがって、上述のように高不純物濃度としても、ゲージの抵抗値として  $1 \text{ k}\Omega$  程度の入力抵抗を確保でき、したがって、充分に実用に耐えるゲージを作製できる。

【0064】また、本発明によれば、以下の理由により耐高温性も向上できる。

【0065】つまり、n 型半導体基板の表面にゲージを作成する場合には、上述の温特補償のための p 型不純物の導入によって p 型層を形成すると、必然的に p n 接合が形成される。この p n 接合のリーク電流は周囲温度が高温になるにつれて増大するため温特不良の一因となる。

【0066】しかし、図 15 (c) に例示されるよう

に、メサエッチングによって p n 接合界面をより深く段差を形成することによって、p n 接合面をゲージ部底面のみにとどめることができ、半導体基板の表面に一樣に p 型層を形成した場合に比べ、リーク電流を低減でき、これによって、高温に強い素子が得られる。例えば、少なくとも 200℃ までの使用が可能となる。

【0067】さらに、図 16 (c) に例示される SOI 構造を使用すると、絶縁膜が介在するために p n 接合が形成されないため、より高温に強い素子が得られる。

【0068】(8) 請求項 8 の本発明では、ガードバンクを設ける。

【0069】「ガードバンク」は、常に圧縮力を支え、力伝達ブロックが圧縮力により変形することにより発生する水平分力も常に支え、ゲージに作用する水平分力を低減させる働きをもつ。

【0070】したがって、力伝達ブロックが圧縮により変形してゲージ角部を斜めに押すことにより発生する、平面方向応力をガードバンク部で緩和し、ゲージに有効な圧縮応力を効率良く作用させることができる。したがって、高感度化ならびに耐破壊強度の向上を図ることができる。

【0071】(9) 請求項 9 の本発明では、中央突起部 (以後、臍部ともいう) を設ける。この中央突起部 (臍部) は、常に圧縮力を支え、主に、力伝達ブロックの変形を抑制する働きをする。

【0072】この臍構造により、受圧面積の変化を極めて小さく保ったままで (感度を下げずに)、また、メサ段差を増加させることなく、ストッパ接触開始荷重を大きくすることができる。したがって、高感度領域を拡大して設計自由度の向上に役立つ。

【0073】つまり、高感度領域を広くするには、メサ段差を高くする必要があるが、メサ段差の限界はフォトリソグラフィの解像度の制約により約  $3 \mu\text{m}$  (これを越えると、露光がぼける) である。しかし、臍を設けることにより力伝達ブロックが圧縮力により変形する量を約  $1/10$  に減少させることができ、結果として、高感度領域の受圧面積をほとんど変化させるとなく、フォトリソの作業性を確保してストッパに力伝達ブロックが接触し始める圧縮力を 10 倍に拡大できる。

【0074】上述したストッパ構造において、ストッパ開始荷重は、測定ゲージ部面積とストッパ部面積の比、メサ段差、臍の有無、力伝達ブロックの形状と縦弾性係数により決まる。感度を高くするには測定ゲージ部面積をストッパ部面積より小さくし、臍をつけ、プロセスの容易さからメサ段差を少なくし、ストッパ開始荷重の制御から力伝達ブロックの縦弾性係数を小さくするのが望ましい。この点で、力伝達ブロックの材質としては、デビトロン (結晶化ガラス) が適している。

【0075】(10) 請求項 10 では、本発明において、圧電抵抗係数として  $\pi_{13}$  を使用することを明確化



している。

【0076】ピエゾ抵抗係数 $\pi_{13}$ は、図18(a)に示すように、電圧検出の方向と電流を流す方向が同じで、前記方向と垂直に一軸応力が作用する場合のピエゾ抵抗係数の呼称である。

【0077】ちなみに、従来構造で使用していたピエゾ抵抗係数 $\pi_{33}$ は、図18(i)に示されるように電圧検出の方向と電流を流す方向が直交する場合に、前記方向と垂直に一軸応力が作用する場合のピエゾ抵抗係数の呼称である。また、請求項4で問題となった、ピエゾ抵抗係数 $\pi_{12}$ は、図18(u)に示すように、電圧検出の方向と電流を流す方向が同じで、前記方向と水平に一軸応力が作用する場合のピエゾ抵抗係数の呼称である。

【0078】 $\pi_{13}$ は、図19に例示されるように、(110)面の〈110〉方向に最大の感度を持ち、〈100〉方向には感度0であり、したがって、請求項1に記載の方向にゲージを配置してホイートストンブリッジを構成すると、フルブリッジ構成でハーフブリッジ相当の出力を得ることができる。

【0079】(11)請求項11の製造方法では、半導体基板の一括メサエッチにより、グリッド(格子)状のゲージを形成する。すなわち、半導体基板の主表面の全面に不純物を拡散後、メサエッチを施してグリッド状ゲージを作成する。これにより、簡単なプロセスで上述した優れた特性を有するゲージ(素子)を作成できる。

【0080】(12)請求項12の製造方法では、SOI(Silicon on Insulator)基板を利用することにより、簡単なプロセス(一括メサの工程と同じ工程で処理できる)により、200℃以上の高温で使用することも可能なゲージ(素子)を得ることができる(pn接合が形成されないため)。

【0081】(13)以上の本発明によって、信頼性が高く、かつ、従来の8倍も高感度の力検知素子を製造できる。したがって、燃焼圧センサに利用した場合には、センサ出力を増幅するためのアンプが不要となる可能性がある。

【0082】センサ全体の価格の1/3を占めるアンプ部を省略できれば、ローコスト化が可能である。

【0083】

【実施例】次に、本発明の実施例について図面を参照して説明する。

【0084】(1)実施例1(全面拡散、ガードバンクおよび臍なし)

(全体構成)図1には、本発明の第1の実施例に係わる力検知素子1000の斜視図が示されている。

【0085】力検知素子1000は、(110)面のシリコン単結晶40と、結晶化ガラス製の力伝達ブロック60および台座70からなり、それぞれ静電接合により強固に固着している。

05 【0086】この(110)面のシリコン単結晶40は、抵抗率約 $1\Omega\text{cm}$ のn型半導体であり、幅 $W_2=1.4\text{mm}$ 、長さ $L_2=2.0\text{mm}$ 、高さ $H_2=0.3\text{mm}$ の直方体状に形成されている。

【0087】台座部70は、幅 $W_2=1.4\text{mm}$ 、長さ $L_2=2.0\text{mm}$ 、高さ $H_2=0.5\text{mm}$ の直方体状に形成されている。

【0088】シリコン単結晶40と力伝達ブロック60の接合面側のシリコン単結晶表面には、ゲージ幅 $10\mu\text{m}$ でフルブリッジ構成の口の字状のゲージ(Ga1~Gb2)が形成されている。このゲージは、n型半導体表面全面にボロンを拡散させ $0.001\Omega\text{cm}$ のp型半導体層(図3の参照番号41)を形成し、ゲージ(Ga1~Gb2)、リード部43、電極部(44a1~44b2)を除いてメサエッチングにより $3\mu\text{m}$ 加工することにより形成される。

【0089】ゲージ(Ga1~Gb2)に、静電接合により強固に固着した結晶化ガラスからなる力伝達ブロック60は、幅 $W_2=1.0\text{mm}$ 、長さ $L_2=0.5\text{mm}$ の直方体形状に形成され、その頂面60aに加えられる圧縮力Wをゲージ(Ga1~Gb2)に垂直に伝達する。

25 【0090】この圧縮力Wにより、ゲージに作用するピエゾ抵抗効果を決定するピエゾ抵抗係数 $\pi_{13}$ の感度を極座標系で表したものを図19に示す。

【0091】口の字の形状の向かいあった1組のゲージGa1, Ga2の長手方向を〈110〉方向に、他の1組のゲージGb1, Gb2の長手方向を〈100〉方向に作製し、隣あったゲージの結合部4箇所からリード部43を取り出す。

【0092】リード部43は、ゲージ(Ga1~Gb2)と同じp型半導体からなり、電極部44a1~44b2に電氣的に接続している。

【0093】電極部44a1~44b2は、約 $1\mu\text{m}$ の厚みをもつ。参照番号44a1, 44a2が入力極であり、44b1, 44b2が出力極である。入力極に一定電流を流せば、出力極に力伝達ブロック60に作用させた圧縮力Wに比例した電圧出力Vが得られる。この電圧出力Vと圧縮力W、ピエゾ抵抗係数 $\pi_{13}$ の関係数式を(数3)に示す。

【0094】

45 【数3】

$$\Delta V = V_{in} \cdot \sum_{i=1}^n \{ \pi_{13} (\sigma_3) i + \pi_{12} (\sigma_2) i + \pi_{11} (\sigma_1) i \} / (2 R_1 + \Delta R_2)$$

但し、 $R_1 = \langle 100 \rangle$  方向のゲージの抵抗

$R_2 = \langle 110 \rangle$  方向のゲージの抵抗変化

$i$  は  $\langle 110 \rangle$  方向ゲージを  $n$  分割したうちの一つ。

【0095】またピエゾ抵抗係数  $\pi_{13}$  は以下の(数4)のように書き表すことができる。

【0096】

10 (数4)

$$\pi_{13} = \frac{1}{2} (\pi_{11} + \pi_{12} - \pi_{44})$$

但し、 $\pi_{12} \ll (\pi_{11} - \pi_{44})$

【0097】(燃烧圧センサの構造) 図13には、本実施例の力検知素子1000を、圧力検出手段としてアッセンブリした燃烧圧センサ1100が示されている。

【0098】この燃烧圧センサ1100は、金属製ダイヤフラム82を備えた筒状のハウジング80と、このハウジング80内に取付け固定された力検知素子1000とを含む。

【0099】ハウジング80は、図示しないエンジンのシリンダヘッドの壁面に装着され、金属製ダイヤフラム82にシリンダ内圧力P作用するよう形成されている。

【0100】力検知素子1000は、ハウジング80内に密封端子90を用いて取付け固定され、その力伝達ブロック60の頂部62はドーム形状となっており、金属製ダイヤフラム82の裏面側と接触している。

【0101】したがって、シリンダ内の圧力Pは、金属製ダイヤフラム82によって圧縮力Wとして変換され、力検知素子1000を構成する力伝達ブロックの頂面62に伝達され、最終的に図1のシリコン半導体の(110)結晶面に圧縮応力として作用する。

【0102】また、密封端子90には、リードピン92a、92b、92c、92d(92a、92bのみ図13に示されている)が設けられている。そして、リードピン92a、92b、92c、92dの上端と力検知素子1000の電極44a1、44a2、44b1、44b2は、直径50 $\mu$ mのボンディングワイヤ94a等にて電氣的接続がなされている。

【0103】燃烧圧センサ1100のダイヤフラム82に、シリンダ内圧力Pが作用した場合、この圧力Pは、圧縮力Wとして力検知素子1000に伝達され、前記(数4)に示したシリコン半導体40のピエゾ抵抗効果に基づく電圧出力 $\Delta V$ に変換される。

【0104】従って外乱等の影響を受けることなく、シリンダ内圧力Pを正確に測定することができる。なお、ピエゾ抵抗係数  $\pi_{13}$  を有効に利用できるその他のシリコ

ン半導体として、p伝導型(111)面、(211)

面、n導電型(100)面が存在するが、p導電型(110)面が最も係数が大きい。

20 【0105】(本実施例の特徴)

■本実施例の特徴は、まず、図3(a)に示されるように、各ゲージ(図3ではGa1、Ga2のみ示されている)が、半導体基板(メサ底部)から突出した細いゲージとして加工されていること、ならびに、図3(b)に示されるように、メサ段差の調整によって、荷重が所定量を越えると、ストップ領域(力伝達ブロック60の底面の一部ならびにn型シリコン基板のメサ段差底部)STP1~STP4)が互いに接触してストップが作用し、圧縮力(W)を分担するようになっていていることである。このストップ作用により、立体化されて細くなったゲージにかかる圧縮力が分担され、破壊強度が向上する。

【0106】図6に、本実施例のセンサの出力特性が示される。高感度特性S1がストップが作用しない状態における特性であり、低感度特性S2がストップが作用した後の特性である。図中、ストップ作動開始荷重はWP1として示されている。

【0107】本実施例の圧縮荷重に対するセンサ出力の特性が、図12に示される。特性曲線D1が本実施例の特性を示す。

【0108】■本実施例の他の特徴は、図2に示されるように、4本のゲージGa1、Ga2、Gb1、Gb2が口の字型(四角形状)に配列されていること、ならびに、これらのゲージの全部に力伝達ブロック60の圧縮応力が作用するようになっていていることである。

【0109】シリコンゲージは、垂直方向の圧縮力には極めて強い破壊強度を示すものの、水平方向の応力と垂直方向のひっぱり力には弱いという性質がある、したがって、本実施例では、図4(a)のような構成をとらず、図4(b)のように、力伝達ブロック60の周辺

(平面応力の中立線近傍)にゲージ(Ga1, Ga2)を配設し、水平方向の応力を低減している。

【0110】つまり、力伝達ブロック60を圧縮することにより発生する平面方向応力の中立線近傍にロの字の形状のゲージ部を作製することにより、ゲージの平面方向応力の両側のバランスをとることができ、ゲージへの平面方向応力の緩和が可能になる。

【0111】また、図5に示すような1組のゲージ(Ga1, Ga2)のみを圧縮する構造(他の1組のゲージGd1, Gd2は圧縮しない)とすると、ゲージの水平方向の伸張による $\pi_{13}$ 以外のピエゾ抵抗係数の影響が直接的に検知出力に現れて感度が低下するため、図2に示すように全部のゲージを圧縮するようにしている。

【0112】この場合、直交するゲージには、符号が反対の、 $\pi_{13}$ 以外のピエゾ抵抗の変化が生じるため、変化が相殺され、出力に影響を与えないようになる。

【0113】■また、本実施例では、図3に示すように、ゲージGa1, Ga2等の圧縮力を直接に受ける先端部分には、高濃度のp型不純物の拡散がなされている。この不純物濃度は、図17(イ)のA点またはB点のオーダーの濃度であり、これにより、センサ出力の温特の自動的な補償がなされる。

【0114】■さらに、本実施例では、ゲージの断面積が小さいために、高不純物濃度でも1k $\Omega$ 程度の入力抵抗を確保でき、実使用に耐えるゲージを得ることができる。また、pn接合がゲージ部のみにしか生じず、環境温度の高温化に伴うpn接合からの漏れ電流を低減できる。したがって、少なくとも200℃程度までは、使用できる。

【0115】(2)実施例2(2段メサ構造)

図7に本発明の第2の実施例が示される。本実施例では、n型単結晶シリコン40の表面に2段階のメサエッチングを施し、浅い段差の第1のメサ部MS1と、深い段差の第2のメサ部MS2を形成している。

【0116】この場合、浅い段差の第1のメサ部MS1の底面ならびに、この面に対応する力伝達ブロック60の底面の一部のみがストッパSTP1~STP4として機能し、深い段差の第2のメサ部MS2に対応した部分はストッパとして機能しないように段差が調節されている。

【0117】この結果、図7(b)に示されるように、第2のメサ部MS2において力伝達ブロック60の撓みが生じ、これによって浅い第1のメサ部MS1において速やかにストッパが働き、その後は接触面積に変化が生じないため、図8に示されるように、力検知出力のリニアリティが向上する(図6に見られるような、接触面積の変動に起因するストッパ作動の初期における鈍りが少なくなる)。

【0118】つまり、二重メサ構造により、ストッパ領域接触後の接触面積変化を速やかに一定にすることがで

き、これにより、低感度領域も測定領域として使う2段出力型とすることができる。したがって測定範囲を拡大し、必要部分のみを高感度で測定することができるようになる。

05 【0119】(3)実施例3(ガードバンク、臍あり)  
図9に、ガードバンク・臍ありの構成で、全面拡散によりゲージGa1~Gb2を作製した力検知素子の斜視図を示す。

【0120】本実施例の特徴は、ロの字の形状に配設されたゲージGa1~Gb2の両側に、このゲージの幅の1~5倍の距離を隔ててゲージと同質、同形状で、電気的にゲージ部に接続していないガードバンクK1~K5を設け、このガードバンクによりゲージへの平面方向応力の緩和とゲージ肩部の応力集中の緩和を行うこと、ならびに、ロの字の形状のゲージの中心近傍に、ゲージと同質、同高さで電気的にゲージに接続していない中央突起部(へそ部)HAを設け、この臍構造により、受圧面積変化を極めて小としつつ(感度を下げずに)、ストッパ接触開始荷重を大きくしたことである。

20 【0121】ガードバンクK1~K5は、図10に示されるように、ゲージGa1~Gb2の外側に個別に設けられ、ガードバンクK5は、ゲージGa1~Gb2の内側に一体的に設けられている。

【0122】また、ロの字の形状のゲージの中心近傍にゲージと同質、同高さで電気的にゲージに接続していない臍部HAを設けることにより、臍構造により受圧面積変化極めて小さく維持しつつストッパ接触開始荷重を大きくすることができる。この時の、荷重-出力特性が図12に示される。特性曲線D2が本実施例の特性である。図1の構造の特性比べ、破壊耐圧がかなり高くなっていることがわかる。

【0123】図11(b)に示されるように、本実施例によれば、中央突起部(へそ部)HAが力伝達ブロック60を常に支えてその変形を抑制し、一方、ガードバンクK1~K5がゲージにかかる圧縮力を分担するため、図11(a)に示される図1の構造よりもゲージにかかる負担が少なく、よって、図12のように耐圧が向上するものである。

【0124】(4)実施例4(メサ一括プロセス)

40 上述した構造の力検知素子(半導体素子)を効率よく作製する手法として、図15に示されるようなメサ一括プロセスが有効である。

【0125】この方法では、まず、図15(a)に示されるように、n型シリコン単結晶基板40に全面にp型不純物を拡散して表面より1 $\mu$ m程度の深さのp型拡散層41を形成する。

【0126】次に、同図(b)のように、ゲージ部、リード部、電極部を残して3 $\mu$ m程度のメサエッチングを施し、ストッパ部、ゲージ(Ga1, Ga2等)、リード部、電極部を一括して形成する。

【0127】このような製造方法によって、効率的に、図1や図9に示される本発明の半導体素子を形成できる。

【0128】(5) 実施例5 (SOI基板を用いたメサ一括プロセス)

本実施例では、SOI基板を用いて、図1や図9に示される本発明にかかる半導体素子を製造する。

【0129】SOI構造のシリコン基板を実現する手段としては、エピタキシャル成長技術、シリコンウェハ直接接合 (SDB) 技術、SIMOX技術を利用する方法があるが、本実施例では、SIMOX法によりSOI基板を作成する。

【0130】すなわち、まず、図16(a)に示すように、n型シリコン半導体基板40の表面から酸素

( $O_2$ ) 原子を打ち込み、熱処理により $O_2$ を活性化させて、シリコン基板の表面の内部に絶縁層 (同図(b)の参照番号45のシリコン酸化膜) を形成する。

【0131】続いて、図16(b)に示すように、ボロン(B)を全面に拡散し、高濃度のp型層41を形成する。

【0132】次に、図16(c)に示すようにメサエッチングを施し、ゲージGa1、Ga2等を形成する。

【0133】SOI構造のゲージはpn接合が形成されず、高温下でも、リーク電流が生じず、200℃以上の温度環境でも使用できる。

【0134】このようなSOI構造の半導体ゲージは、例えば、図14のように組み立てられて使用される。

【0135】図14では、力伝達ブロック60の頂部に、半球状の頭部62を設けている。これにより、図13に示す金属製ダイアフラム82と、力伝達ブロック60との接触面積が小さくなり、高温の金属製ダイアフラム82から力検知素子への直接的な熱伝導が少なくなり、力検知素子の温度上昇を抑制することができる。したがって、SOI構造のゲージの採用効果とあいまって、高温下での使用により適する構造となっている。

【0136】以上、本発明を実施例に基づいて説明したが、本発明はこれらに限定されるものではなく、種々変形が可能である。例えば、前掲の各実施例では、本発明を燃焼圧センサに適用した場合を例にとり説明したが、本発明はこれに限らず、これ以外の各種分野において幅広く用いることが可能である。

【0137】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、以下の効果を得ることができる。

【0138】(1) 請求項1の本発明では、半導体単結晶のメサ底部より突出した細いゲージを設け、このゲージによって力伝達ブロックの圧縮力を受けるため、受圧面積が小さく、したがってゲージにより大きな圧縮応力が作用し、力検知感度を極めて向上させることができる。

【0139】(2) 請求項2の本発明では、メサ段差を調整することによってストッパ構造を実現し、圧縮力を分散させ、耐圧を向上させることができる。

【0140】(3) 請求項3の本発明では、半導体単結晶表面に2段階のメサ構造を採用することにより、力検知素子の出力のリニアリティを向上させることができる。

【0141】(4) 請求項4の本発明では、ゲージを四角形の形状に配設することによる作用、ならびに4本のゲージ全てに力伝達ブロックによる圧縮力を与えることによる作用によって、素子の耐破壊強度の向上および素子の高感度化を図ることができる。

【0142】(5) 請求項5の本発明では、各ゲージを、力伝達ブロックを圧縮することにより発生する平面方向応力の中立線近傍に設けることにより、圧縮力が有効な圧縮力として各ゲージに作用するようになり、水平の剥離応力が極めて低減されて、ゲージが破壊されにくくなる。

【0143】(6) 請求項6および請求項7の本発明では、グリッド状の細いゲージの特徴を活かして、力検知素子の自己感度温度補償ならびに耐高温性を実現することができる。

【0144】(8) 請求項8の本発明では、ガードバンクを形成することにより、力伝達ブロックが圧縮により変形してゲージ角部を斜めに押すことにより発生する平面方向応力を緩和でき、素子の高感度化ならびに耐破壊強度の向上を図ることができる。

【0145】(9) 請求項9の本発明では、中央突起部 (臍部) を設けることにより、受圧面積の変化を極めて小さく保ったままで (感度を下げずに)、また、メサ段差を増加させることなく、ストッパ接触開始荷重を大きくすることができる。したがって、高感度領域を拡大して設計自由度の向上を図れる。

【0146】(10) 請求項10では、ピエゾ抵抗係数として $\pi_{13}$ を使用することを明確化している。 $\pi_{13}$ は(110)面の〈110〉方向に最大の感度をもち、〈100〉方向には感度0であり、したがって、ホイートストンブリッジを構成すると、フルブリッジ構成でハーフブリッジ相当の出力を得ることができる。

【0147】(11) 請求項11の製造方法では、半導体基板の一括メサエッチにより、グリッド (格子) 状のゲージを形成することにより、簡単なプロセスによって、優れた性能を有するゲージ (素子) を作成できる。

【0148】(12) 請求項12の製造方法では、SOI (Silicon on Insulator) 基板を利用することにより、簡単なプロセス (一括メサの工程と同じ工程で処理できる) により、200℃以上の高温で使用することも可能なゲージ (素子) を得ることができる。

【0149】(13) 以上の本発明によって、信頼性が

高く、かつ、従来の8倍も高感度の力検知素子を製造できる。したがって、燃焼圧センサに利用した場合には、センサ出力を増幅するためのアンプを不要とできる。センサ全体の価格の1/3を占めるアンプ部を省略できれば、燃焼圧センサのローコスト化ができる。

【0150】

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の力検知素子の好適な第1の実施例の外観斜視図である。

【図2】図1の力検知素子における、各ゲージの配置ならびに力伝達ブロックとの相対関係を説明するための図である。

【図3】ストッパ構造の働きを説明するための断面図であり、(a)は圧縮力なしの場合、(b)は圧縮力によって力伝達ブロックが変形してストッパが機能している場合を示す。

【図4】図1の力検知素子において、ゲージの配列形状によって材料力学的に破壊強度が向上する理由を説明するための断面図であり、(a)は比較例を示し、(b)は図1の実施例の場合を示す。

【図5】図1の力検知素子において、図2に示されるようなゲージと力伝達ブロックとの相対関係によって、検知感度が向上する理由を説明するための平面図である。

【図6】図1の力検知素子の特性（荷重－出力特性）を示す図である。

【図7】本発明の第2の実施例の要部構造（2段メサ構造）を示す図であり、(a)は圧縮力なしの場合、(b)は圧縮力によって力伝達ブロックが変形してストッパが機能している場合を示す。

【図8】図7の力検知素子の特性（荷重－出力特性）を示す図である。

【図9】本発明の力検知素子の第3の実施例を示す斜視図である。

【図10】図9の力検知素子における、ゲージ、ガードバンク、中央突起部等の平面配置を示す図である。

【図11】図9の力検知素子における、ガードバンクならびに中央突起部の作用、効果を説明するための図であり、(a)は比較例を示し、(b)は図9の実施例の場合を示す。

05 【図12】図1ならびに図9の実施例の耐破壊強度を示す図である。

【図13】本発明の力検知素子を用いて構成された燃焼圧センサの要部の概略を示す断面図である。

10 【図14】図14における、力検知素子を含む要部の具体的構成例を示す図である。

【図15】(a)、(b)は本発明の力検知素子の製造方法の一実施例を示す図である。

【図16】(a)、(b)、(c)は、本発明の力検知素子の製造方法の他の実施例を示す図である。

15 【図17】(ア)、(イ)はそれぞれ、本発明の力検知素子におけるセンサ感度の温特補償効果を説明するための図である。

【図18】(ア)、(イ)、(ウ)はそれぞれ、ピエゾ抵抗係数を説明するための図である。

20 【図19】(110)結晶面を備えたシリコン半導体に相対する2個の入出力電極を形成し、結晶面に圧縮力を作用させた場合のピエゾ抵抗係数 $\pi_{13}$ を、入出力電極の形成方向を360全方向にわたり変化させて測定し円グラフ化した図である。

25 【図20】(a)、(b)は、本発明前に本願出願人によって開発された力検知素子の構造を説明するための図である。

【符号の説明】

40 シリコン単結晶

30 43 リード部

44 a 1 ~ 44 b 2 電極部

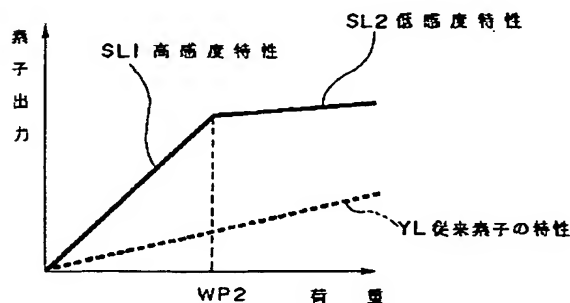
60 力伝達ブロック

70 台座

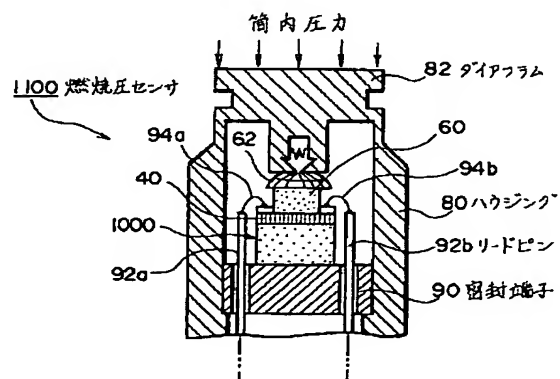
G a 1 ~ G b 2 グリッド状ゲージ

35 1000 力検知素子

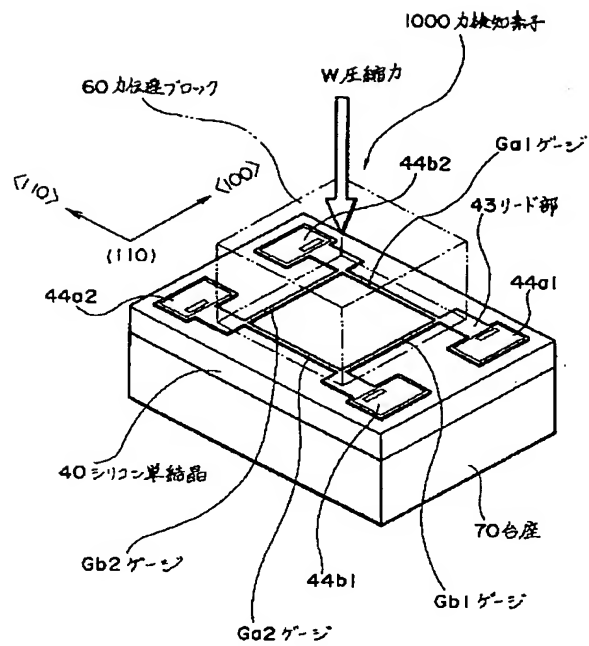
【図8】



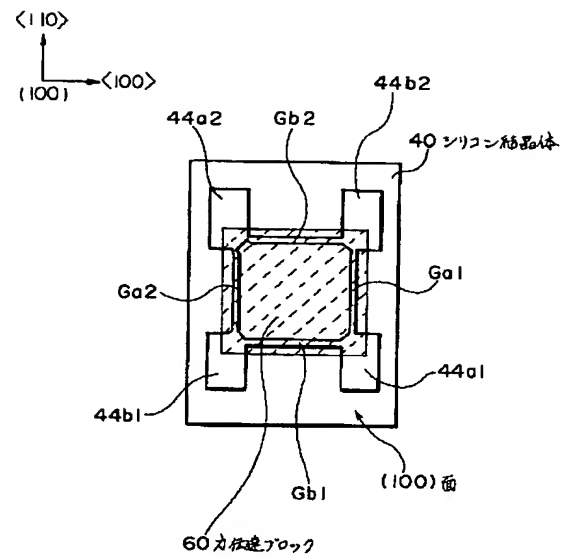
【図13】



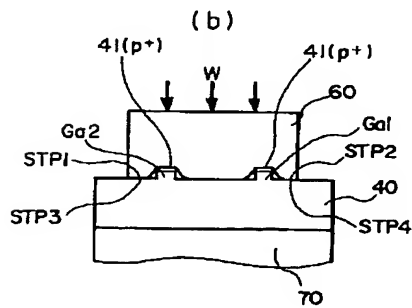
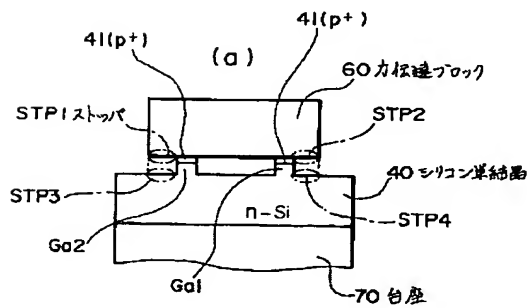
【図 1】



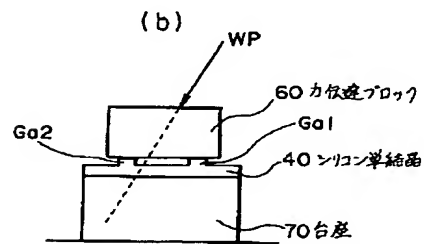
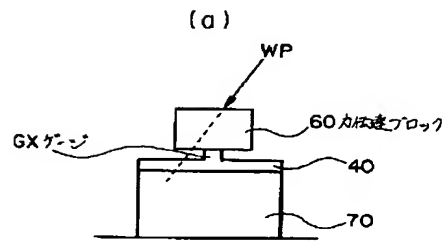
【図 2】



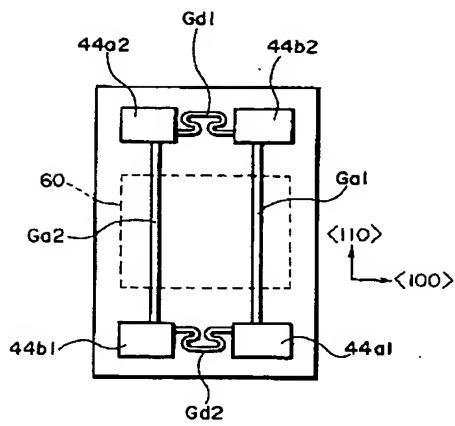
【図 3】



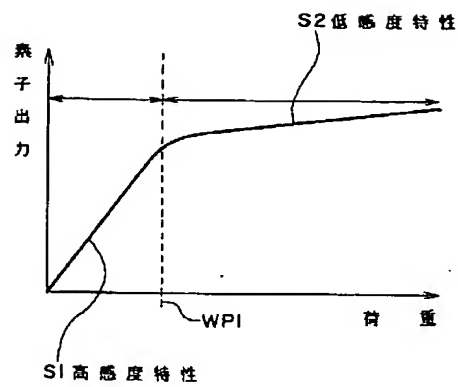
【図 4】



【図 5】

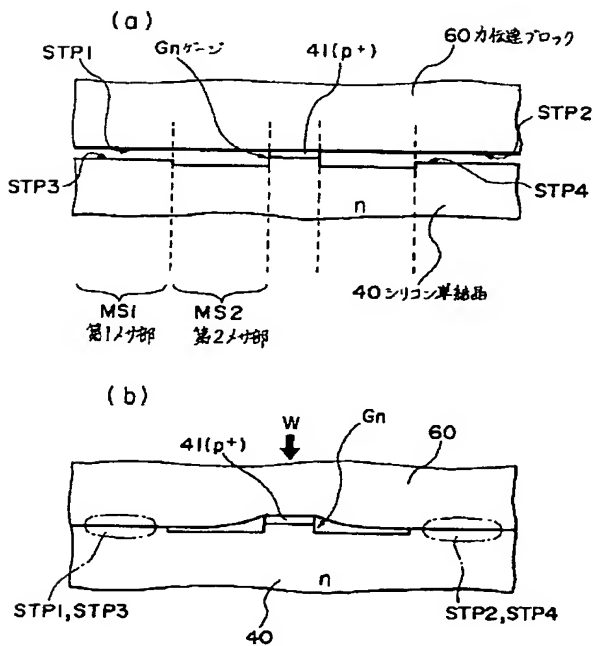


【図 6】

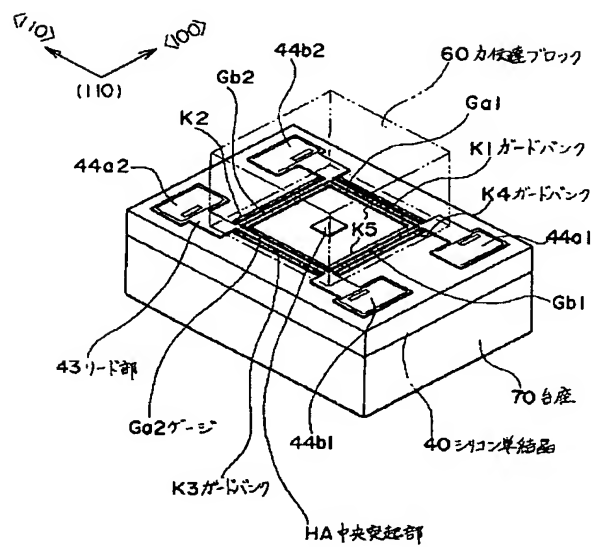


WP; ストップが有効に働きはじめる荷重

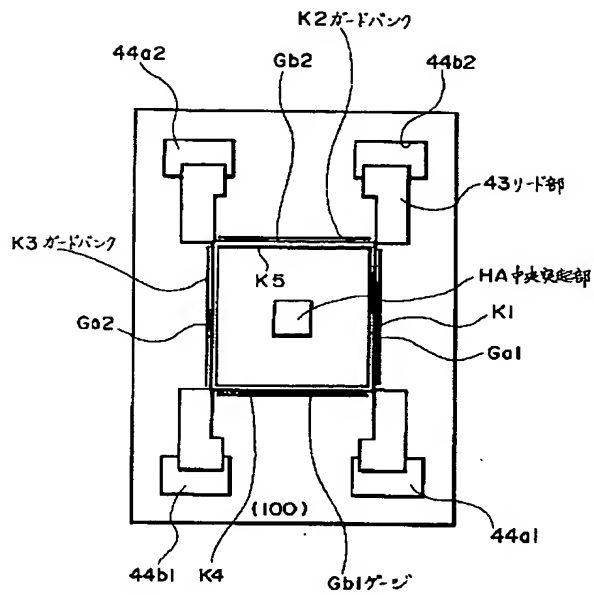
【図 7】



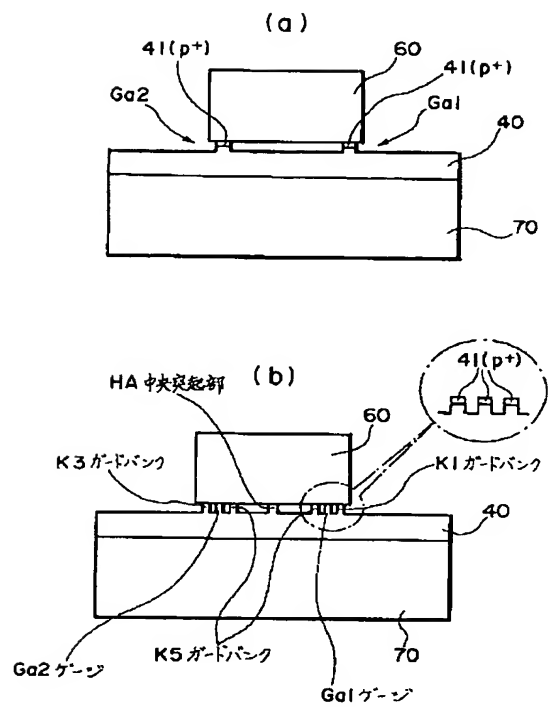
【図 9】



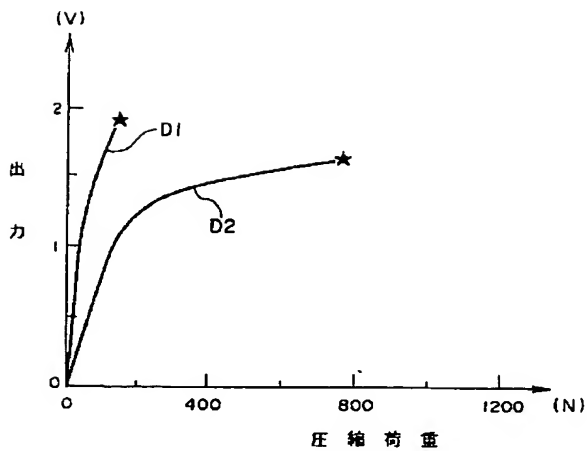
【図10】



【図11】



【図12】

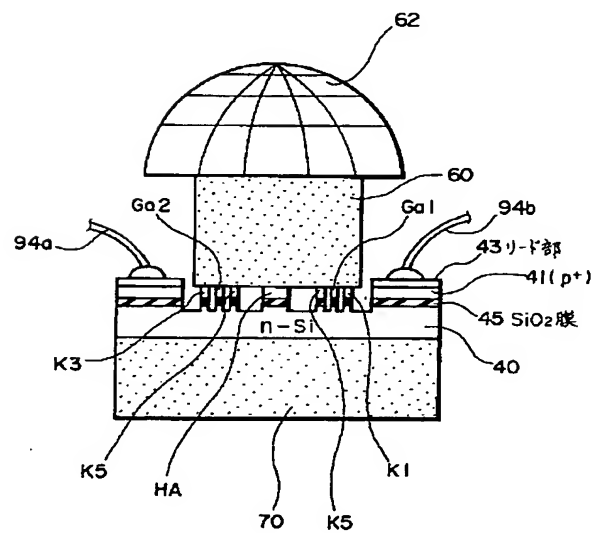


D1; 図1の構成の特性

D2; 図9の構成の特性

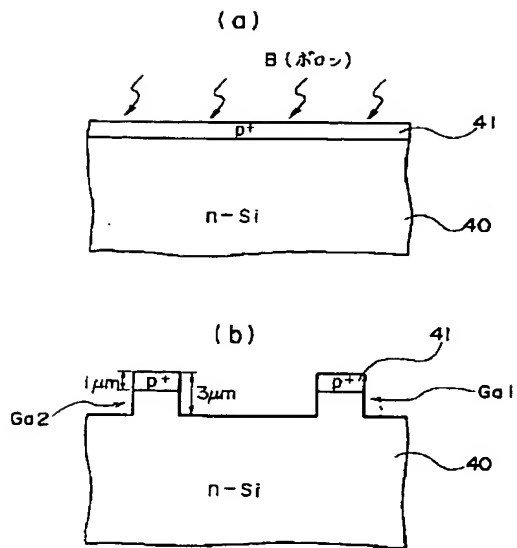
★; 破壊点

【図14】

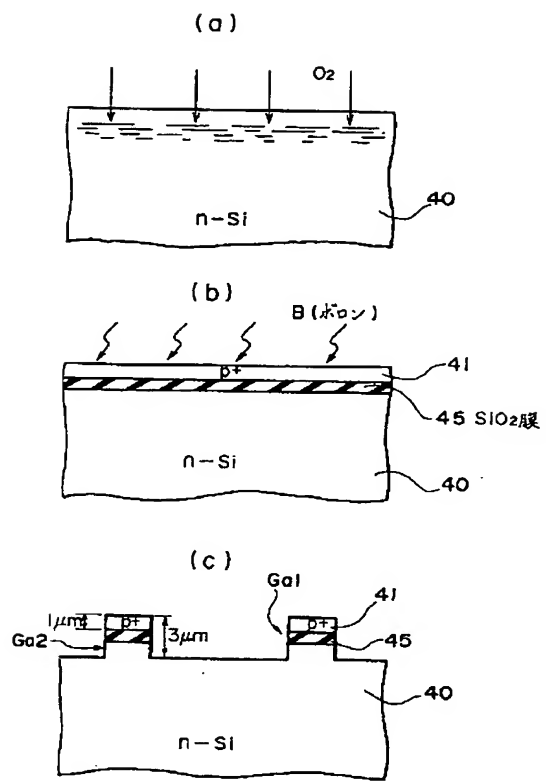




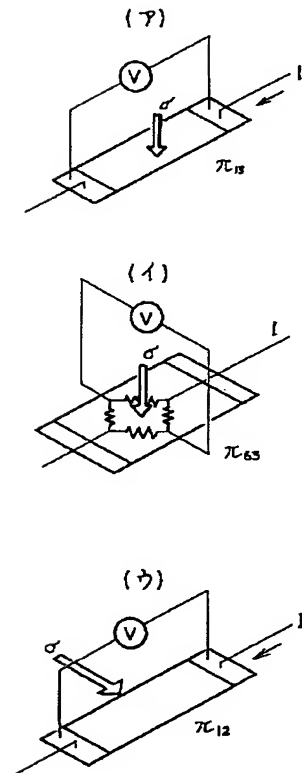
【図15】



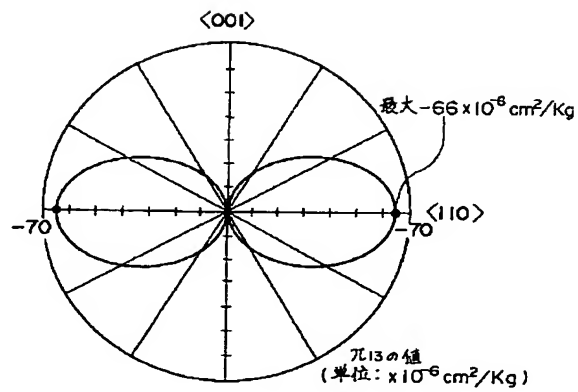
【図16】



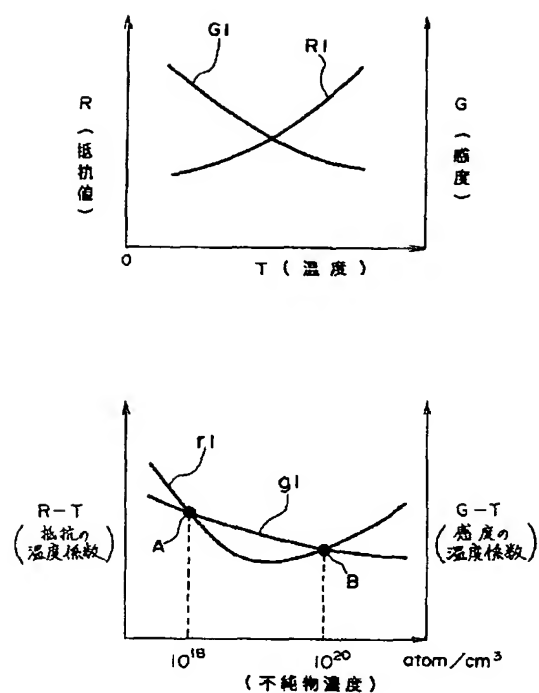
【図18】



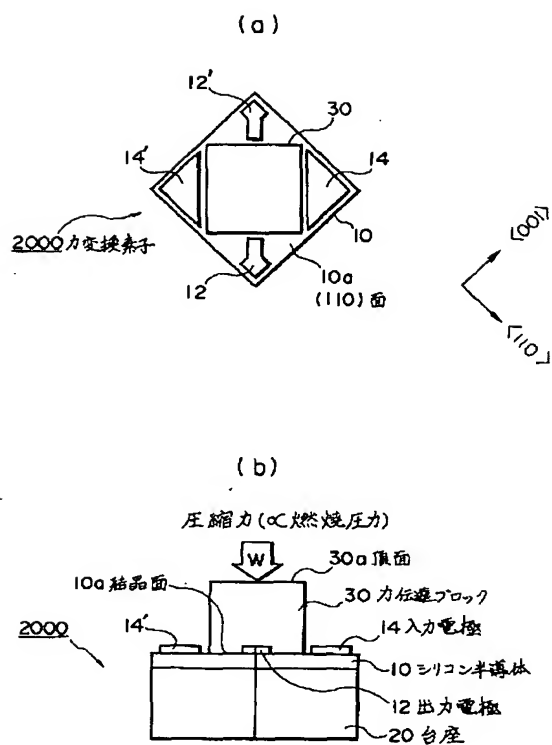
【図19】



【図 17】



【図 20】



フロントページの続き

(72) 発明者 野々村 裕  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72) 発明者 徳光 早苗  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1

(72) 発明者 竹内 正治  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1

(72) 発明者 川口 一義  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1